

# **OTIMIZAÇÃO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS ANTIGOS NUMA PERSPETIVA ENERGÉTICA E DE CONFORTO**

**EURICO LIMA BAPTISTA DE BARROS**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

JANEIRO DE 2012

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais e à Sandra para que sintam que valeu a pena.

*“Suportável na rua ou no campo, o inverno é duro no interior das habitações, onde o frio se acumula e permanece; mal aquecidas por falta de lenha, mas também porque a raridade do frio intenso não torna indispensável esta defesa. Assim, enquanto o frio na Europa média convida à intimidade no interior, o frio vence-se aqui apanhando o sol ou aquecendo por um rápido passeio a pé.”*

Orlando Ribeiro, 1987





## **AGRADECIMENTOS**

Uma dissertação de mestrado representa o término de uma longa caminhada, um esforço e empenho não só da minha parte, mas de todos os que estiveram ao meu lado durante o seu desenvolvimento. Expresso o meu sincero agradecimento àqueles que tiveram um papel fundamental na sua realização:

Aos meus Pais expresso o mais sincero e profundo agradecimento por me acompanharem sempre, pois sem a sua ajuda ao longo destes anos, não teria chegado aqui.

À Sandra Teixeira, um agradecimento muito especial pela preocupação e dedicação demonstrada, como também pelas constantes injeções de motivação durante todo o curso, este companheirismo não podia passar sem um muito obrigado. A sua ajuda, compreensão e estímulo foram vitais.

Ao Professor Vasco Peixoto Freitas, meu orientador científico, agradeço a sua orientação e disponibilidade no esclarecimento de todas as questões sobre o tema desta dissertação, o que muito contribuiu para o desenvolvimento da mesma.

Ao Engº Bruno Nascimento, agradeço a sua disponibilidade e empenho no envio de informação, bem como no esclarecimento de algumas dúvidas.



## RESUMO

O edificado nacional é composto por uma grande quantidade de edifícios antigos e que por isso proporcionam um conforto térmico aquém das expectativas dos utilizadores atuais, com requisitos mais exigentes. A satisfação por parte de quem ocupa os edifícios implica o recurso a sistemas de aquecimento e arrefecimento que modelem o ambiente interior, tornando-o mais agradável.

O futuro e atual contexto económico resulta numa menor disponibilidade para a utilização de sistemas que atenuem os *handicaps* próprios de edifícios concebidos em outras épocas.

Assim, com a proclamação do conceito de sustentabilidade, surgiram novos regulamentos que incitam a reabilitação térmica e a eficiência dos edifícios existentes.

Com a presente dissertação, pretende-se então perceber como intervir nos elementos construtivos que compõe a envolvente dos edifícios antigos, de modo a otimizar o seu conforto térmico atendendo à eficiência energética.

A metodologia adotada compreende a análise de importantes publicações sobre o tema, destacando-se a promoção da reabilitação energética e do edificado, a determinação e quantificação dos parâmetros que permitem avaliar o conforto térmico em residências, e a identificação e caracterização dos elementos que compõem a envolvente de um edifício e que podem ser sujeitos a intervenções para um melhor comportamento daquele.

A avaliação da influência de cada elemento construtivo sobre o desempenho do edifício, bem como a otimização da sua envolvente exterior, é feita a partir da realização de estudos de sensibilidade, utilizando para isso um programa informático que é aplicado a um estudo de caso, nomeadamente a um edifício de habitação unifamiliar antigo da cidade do Porto.

O programa considerado designa-se por Pleaides e utiliza o modelo de cálculo COMFIE, sendo-lhe reservado um espaço para a descrição do seu funcionamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conforto Térmico, Reabilitação, Envolvente, Edifícios Antigos, Qualidade Térmica.



## **ABSTRACT**

The national built environment is made by a lot of old buildings that do not provide a thermal comfort according to the current users expectations, who have more demanding requisites. The satisfaction of those who occupy the buildings involves the use of heating and cooling systems that model the internal environment, making it more enjoyable.

The current and the future economic context resulting in reduced availability for the use of systems to mitigate the natural handicaps of buildings designed at other times.

Thus, with the proclamation of the concept of sustainability, emerged new regulation that encourages rehabilitation and thermal efficiency of the existing buildings.

In this dissertation it is intended to understand how to intervene in constructive elements that make up the surroundings of the buildings in order to optimize their thermal comfort taking into account the energy efficiency.

The methodology includes the analysis of important publication on this subject, emphasizing the promotion of energy rehabilitation and the buildings, the determination and qualification of the parameters used to evaluate thermal comfort in homes and the identification and characterization of the elements that make up the surroundings of a building that may be subject to interventions to improve their behavior.

The evaluation of the influence of each building element on the performance of building as well as the optimization of its external surroundings is made from the sensitivity studies, using a computer program for this, which is applied to a case study including a single-family residential old building typical of Oporto.

That computer program is called Pleiades and uses the model calculation called COMFIE, being a space reserved for the description of their functioning.

**KEYWORDS:** Thermal Comfort, Rehabilitation, Surroundings, Buildings, Thermal Quality



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. INTERESSE E OBJETIVOS .....	2
1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO .....	3
<b>2. ESTADO DA ARTE</b> .....	5
2.1. A REABILITAÇÃO E A ENERGIA – O PANORAMA NACIONAL .....	5
2.2. O CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS .....	11
2.2.1. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS .....	12
2.2.2. EN ISO 7730:2005 .....	13
2.2.3. RÈGLEMENTATION THERMIQUE .....	13
2.3. DEFINIÇÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS .....	14
2.3.1. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA MÁXIMOS E DE REFERÊNCIA .....	15
2.3.2. FATORES SOLARES MÁXIMOS E DE REFERÊNCIA .....	15
2.3.3. NÍVEIS DE QUALIDADES .....	16
2.4. FATORES SUSCETÍVEIS DE ALTERAÇÃO NUM EDIFÍCIO EXISTENTE QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO ENERGÉTICO E DE CONFORTO TÉRMICO .....	17
2.4.1. AUMENTO DA INÉRCIA TÉRMICA .....	17
2.4.1.1. Análise do fenómeno .....	17
2.4.1.2. Posição do isolante térmico .....	18
2.4.2. REFORÇO DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM ZONAS OPACAS .....	20
2.4.2.1. Paredes exteriores .....	20
2.4.2.2. Cobertura .....	21
2.4.3. CORREÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS .....	21
2.4.3.1. Princípios .....	21
2.4.3.2. Coeficiente de transmissão térmica .....	22
2.4.3.3. Fator Solar .....	23

<b>3. CÁLCULO EM REGIME DINÂMICO</b>	25
<b>3.1. INTRODUÇÃO</b>	25
<b>3.2. MÓDULO DE CÁLCULO COMFIE</b>	26
<b>3.3. FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA</b>	27
3.3.1. BIBLIOTECA TÉRMICA	29
3.3.1.1. Composição dos elementos construtivos	30
3.3.1.2. Tipo de superfície	31
3.3.1.3. Portas e vãos envidraçados	31
3.3.1.4. Cenários	31
3.3.1.5. Superfície da envolvente exterior	33
3.3.1.6. Cortina vegetal	34
3.3.1.7. Equipamentos	34
3.3.2. ENTRADA DE DADOS	34
3.3.2.1. Elementos e ligações	34
3.3.2.2. Características dos elementos delimitadores	35
3.3.2.3. Sombreamento nos vãos envidraçados	36
3.3.2.4. Dados importados	37
3.3.2.5. Lista dos elementos delimitadores	38
3.3.3. INTERFACE COMFIE	38
3.3.3.1. Envolvente	39
3.3.3.2. Funcionamento	39
3.3.3.3. Simulação	41
3.3.3.4. Resultados	43
<b>3.4. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS</b>	44

<b>4. OTIMIZAÇÃO DA ENVOLVENTE DE UM EDIFÍCIO ANTIGO REABILITADO – ESTUDOS DE SENSIBILIDADE</b>	47
<b>4.1. INTRODUÇÃO</b>	47
<b>4.2. CASO DE ESTUDO</b>	47
4.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	47
4.2.1.1. Arquitetura	47
4.2.1.2. Construção	49
4.2.2. DADOS CLIMÁTICOS	53



<b>4.3. CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES</b>	53
4.3.1. METODOLOGIA PARA A DEFINIÇÃO DAS SIMULAÇÕES	56
4.3.2. DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	56
4.3.2.1. Cobertura	56
4.3.2.2. Paredes exteriores	57
4.3.2.3. Envidraçados	57
4.3.3. DESCRIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO	58
4.3.3.1. Climatização	58
4.3.3.2. Ocupação	58
4.3.3.3. Potência dissipada	59
4.3.3.4. Ventilação	59
4.3.3.5. Ventilação interna	59
4.3.3.6. Ativação das proteções dos envidraçados	60
<b>4.4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA – DESEMPENHO ENERGÉTICO E DE CONFORTO</b>	61
4.4.1. AVALIAÇÃO DA REABILITAÇÃO REALIZADA	62
4.4.1.1. Sem aquecimento	62
4.4.1.2. Com aquecimento	65
4.4.2. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA QUALIDADE TÉRMICA DA COBERTURA	68
4.4.2.1. Sem aquecimento	68
4.4.2.2. Com aquecimento	71
4.4.3. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA QUALIDADE TÉRMICA DAS PAREDES EXTERIORES	74
4.4.3.1. Sem aquecimento	74
4.4.3.2. Com aquecimento	77
4.4.4. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO DO ISOLANTE TÉRMICO NAS PAREDES EXTERIORES	79
4.4.4.1. Sem aquecimento	79
4.4.4.2. Com aquecimento	81
4.4.5. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA QUALIDADE TÉRMICA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS	83
4.4.5.1. Sem aquecimento	83
4.4.5.2. Com aquecimento	86
4.4.6. OTIMIZAÇÃO DA ENVOLVENTE DO EDIFÍCIO REABILITADO	90
4.4.6.1. Sem aquecimento	90
4.4.6.2. Com aquecimento	93

4.4.7. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO ENERGÉTICO E DE CONFORTO DO EDIFÍCIO .....	95
4.4.7.1. Ventilação .....	96
4.4.7.2. Ganhos internos .....	98

<b>5. Conclusões .....</b>	<b>103</b>
<b>5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>103</b>
5.1.1. CONCLUSÕES GERAIS .....	105
5.1.2. CONCLUSÕES ESPECÍFICAS .....	105
<b>5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>109</b>

<b>Bibliografia .....</b>	<b>115</b>
---------------------------	------------

<b>Anexos .....</b>	
<b>ANEXO I – SCREENSHOTS DO PROGRAMA PLEAIDES 3.0.5.5 .....</b>	
<b>ANEXO II – PLANTAS, ALÇADOS E CORTES DO EDIFÍCIO ESTUDADO .....</b>	
<b>ANEXO III – DESCRIÇÃO DAS ÁREAS E VOLUMES DOS COMPARTIMENTOS E DAS ÁREAS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS QUE COMPÕEM O EDIFÍCIO .....</b>	
<b>ANEXO IV – PORMENORIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO .....</b>	
ANEXO IV.I – CENÁRIOS SEMANAIS DE OCUPAÇÃO .....	
ANEXO IV.II – CENÁRIOS SEMANAIS DE POTÊNCIA DISSIPADA .....	
ANEXO IV.III – CENÁRIOS SEMANAIS DE VENTILAÇÃO .....	
ANEXO IV.IV – CENÁRIOS SEMANAIS DE OCULTAÇÃO .....	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Consumo de energia nacional no setor doméstico para o período compreendido entre 1989 e 2009.....	7
Figura 2.2 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de uso em 2010.....	8
Figura 2.3 – Problemas percebidos do alojamento em Portugal (dados relativos a indivíduos, em %)..	8
Figura 2.4 – Evolução do custo unitário da energia elétrica para um consumidor doméstico médio (baixa tensão).....	10
Figura 2.5 – Efeitos da inércia térmica.....	18
Figura 2.6 – Neutralização da absorção de calor com isolante térmico pelo interior .....	18
Figura 2.7 – Importância do isolamento térmico pelo exterior .....	19
Figura 2.8 – Fluxo de calor face a diferentes inércias térmicas.....	19
Figura 2.9 – Radiação solar global anual na Europa .....	22
Figura 2.10 – Decomposição da radiação solar ao incidir num elemento envidraçado .....	23
Figura 3.1 – Trocas de calor entre as diferentes zonas térmicas .....	26
Figura 3.2 – Descrição da metodologia de cálculo COMFIE .....	27
Figura 3.3 – Principais menus do programa Pleaides .....	27
Figura 3.4 – Ecrã inicial do programa do Pleaides .....	28
Figura 3.5 – Opções dos menus do programa Pleaides.....	29
Figura 3.6 – Menus do módulo “ <i>Bibliothèque Thermique</i> ” do programa Pleaides .....	29
Figura 3.7 – Janela de aplicação “ <i>Matériaux</i> ” do menu “ <i>Composition de Parois</i> ” .....	30
Figura 3.8 – Janela de aplicação “ <i>Scénario Hebdomadaire</i> ” do menu “ <i>Scénario</i> ” .....	32
Figura 3.9 – Janela de aplicação “ <i>Scénarios Annuels</i> ” do menu “ <i>Scénario</i> ” .....	33
Figura 3.10 – Menus do módulo “ <i>Saisie Multizone du Bâtiment</i> ” do programa Pleaides .....	34
Figura 3.11 – Janela de aplicação do menu “ <i>Pièces et Contacts</i> ”.....	35
Figura 3.12 – Exemplo de bordos e reentrâncias num vão envidraçado, conseguida no submenu “ <i>Débords</i> ” do menu “ <i>Masques Intégrés</i> ” .....	36
Figura 3.13 – Janela de informação do submenu “ <i>Débords</i> ” do menu “ <i>Masques Intégrés</i> ” .....	37
Figura 3.14 – Janela de aplicação do menu “ <i>Composants Importés</i> ” .....	38
Figura 3.15 – Menus do módulo “ <i>Interface COMFIE</i> ” .....	39
Figura 3.16 – Janela de aplicação “ <i>Zones Thermiques</i> ” do menu “ <i>Fonctionnement</i> ” .....	40
Figura 3.17 – Janela de aplicação “ <i>Lancer la Simulation</i> ” do menu “ <i>Simulation</i> ”.....	42
Figura 3.18 – Submenus do menu “ <i>Sorties</i> ” do módulo “ <i>Interface COMFIE</i> ” .....	43
Figura 4.1 – Visualização do edifício .....	48

Figura 4.2 – Visualização da cave e do rés do chão, à esquerda e à direita, respetivamente .....	49
Figura 4.3 – Visualização do 1º andar .....	49
Figura 4.4 – Representação da cobertura do edifício, antes e depois da reabilitação .....	50
Figura 4.5 – Representação da parede de fachada do edifício, antes e depois da reabilitação .....	51
Figura 4.6 – Representação das paredes interiores do edifício .....	52
Figura 4.7 – Representação do pavimento térreo do edifício .....	52
Figura 4.8 – Representação do pavimento intermédio do edifício .....	52
Figura 4.9 – Simulações possíveis de realizar para procura da solução otimizada .....	54
Figura 4.10 – Decomposição de cada nível de qualidade térmica da cobertura .....	54
Figura 4.11 – Decomposição de cada nível de qualidade térmica das paredes exteriores .....	55
Figura 4.12 – Decomposição para cada localização do sistema de isolamento térmico .....	55
Figura 4.13 – Decomposição para cada condição de climatização do ambiente interior .....	55
Figura 4.14 – Simulações a realizar para a avaliação da reabilitação do edifício em estudo .....	56
Figura 4.15 – Modo de processamento da ventilação interna do edifício .....	60
Figura 4.16 – Interpretação do código de identificação das simulações .....	61
Figura 4.17 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 1 .....	62
Figura 4.18 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 2 .....	63
Figura 4.19 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 1 .....	63
Figura 4.20 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 2 .....	63
Figura 4.21 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 1 e 2 .....	64
Figura 4.22 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 3 .....	65
Figura 4.23 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 4 .....	66
Figura 4.24 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 3 .....	66
Figura 4.25 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 4 .....	66
Figura 4.26 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 3 e 4 .....	67
Figura 4.27 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 5 .....	69
Figura 4.28 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 6 .....	69

Figura 4.29 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 7 .....	69
Figura 4.30 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 5 .....	70
Figura 4.31 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 6 .....	70
Figura 4.32 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 7 .....	70
Figura 4.33 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 5, 6 e 7 .....	71
Figura 4.34 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 8 .....	72
Figura 4.35 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 9 .....	72
Figura 4.36 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 10 .....	73
Figura 4.37 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 8, 9 e 10 .....	73
Figura 4.38 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 11 .....	75
Figura 4.39 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 12 .....	75
Figura 4.40 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 13 .....	76
Figura 4.41 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 11, 12 e 13 .....	76
Figura 4.42 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 14, 15 e 16 .....	77
Figura 4.43 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 14 .....	78
Figura 4.44 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 15 .....	78
Figura 4.45 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 16 .....	78
Figura 4.46 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 17 .....	80
Figura 4.47 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 17 e 12 .....	80
Figura 4.48 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 18 .....	81
Figura 4.49 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 18 e 15 .....	82
Figura 4.50 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 19 .....	84
Figura 4.51 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 20 .....	84
Figura 4.52 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 21 .....	84
Figura 4.53 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 19, 20 e 21 .....	85
Figura 4.54 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 22 .....	86
Figura 4.55 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 23 .....	87
Figura 4.56 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 24 .....	87

Figura 4.57 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 22, 23 e 24.....	88
Figura 4.58 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 2.....	91
Figura 4.59 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 25.....	91
Figura 4.60 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 1, 2 e 25.....	92
Figura 4.61 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 4.....	93
Figura 4.62 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 26.....	93
Figura 4.63 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 3, 4 e 26.....	94
Figura 4.64 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 27.....	96
Figura 4.65 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 28.....	97
Figura 4.66 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 27 e 28.....	97
Figura 4.67 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 29 e 30.....	98
Figura 4.68 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 2.....	99
Figura 4.69 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 31.....	99
Figura 4.70 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 2 e 31.....	100
Figura 4.71 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 4 e 32.....	100
Figura 5.1 – Simulações realizadas com vista à otimização da envolvente do edifício.....	105
Figura 5.2 – Simulações realizadas para avaliação das condições de utilização .....	106

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Distribuição do consumo energético por setores em países europeus no ano 2007 .....	6
Quadro 2.2 – Consumo de energia nacional no setor doméstico .....	7
Quadro 2.3 – Necessidades de reparações dos edifícios .....	9
Quadro 2.4 – Número de edifícios de habitação familiar clássica e alojamentos familiares clássicos ...	9
Quadro 2.5 – Número de edifícios por época de construção .....	11
Quadro 2.6 – Condições para o ambiente interior .....	13
Quadro 2.7 – Condições a satisfazer segundo a RT 2005 .....	14
Quadro 2.8 – Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis de elementos opacos - $U_{max}$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) .....	15
Quadro 2.9 – Coeficientes de transmissão térmica de referência - $U_{ref}$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) .....	15
Quadro 2.10 – Fatores solares máximos admissíveis - $g_{\perp max}$ .....	16
Quadro 2.11 – Fatores solares de referência - $g_{\perp ref}$ .....	16
Quadro 2.12 – Níveis de qualidade térmica para a envolvente opaca .....	16
Quadro 2.13 – Níveis de qualidade térmica para os vãos envidraçados .....	16
Quadro 2.14 – Vantagens e desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior .....	20
Quadro 2.15 – Vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior .....	20
Quadro 3.1 – Valores do consumo de energia real para o edifício reabilitado em estudo .....	44
Quadro 3.2 – Resumo do cálculo da energia necessária para produção de águas quentes sanitárias (AQS) .....	44
Quadro 3.3 – Resumo do consumo real de gás do edifício reabilitado durante o período de um ano .....	45
Quadro 3.4 – Comparação entre o consumo de energia calculado pelo Pleaides para o edifício reabilitado e os valores obtidos através da faturação de gás natural e o método de cálculo do RCCTE .....	45
Quadro 4.1 – Caracterização da localização do edifício .....	48
Quadro 4.2 – Caracterização da cobertura do edifício, antes e depois da reabilitação .....	50
Quadro 4.3 – Caracterização das paredes exteriores do edifício, antes e depois da reabilitação .....	50
Quadro 4.4 – Caracterização dos vãos envidraçados do edifício, antes e depois da reabilitação .....	51
Quadro 4.5 – Caracterização das portas do edifício .....	52
Quadro 4.6 – Resumo dos valores dos dados climáticos em médias mensais .....	53
Quadro 4.7 – Soluções para o reforço do isolamento térmico da cobertura .....	57
Quadro 4.8 – Soluções para o reforço do isolamento térmico das paredes exteriores .....	57
Quadro 4.9 – Soluções para o melhoramento do comportamento térmico dos vãos envidraçados .....	57
Quadro 4.10 – Condições de ventilação do edifício .....	59

Quadro 4.11 – Modo de ativação das proteções dos envidraçados .....	60
Quadro 4.12 – Simulações realizadas para avaliação do edifício reabilitado .....	62
Quadro 4.13 – Simulações realizadas para avaliação da influência da qualidade térmica da cobertura .....	68
Quadro 4.14 – Simulações realizadas para avaliação da influência da qualidade térmica das paredes exteriores .....	74
Quadro 4.15 – Simulações realizadas para avaliação da influência localização do isolante térmico nas paredes .....	79
Quadro 4.16 – Simulações realizadas para avaliação da influência da qualidade térmica dos vãos envidraçados .....	83
Quadro 4.17 – Ganhos solares brutos para a simulação 19 .....	85
Quadro 4.18 – Ganhos solares brutos para as simulações 22, 23 e 24 .....	89
Quadro 4.19 – Síntese das soluções construtivas para efeitos de comparação .....	90
Quadro 4.20 – Simulações realizadas com vista à otimização da envolvente .....	90
Quadro 4.21 – Necessidades energéticas para simulações 4 e 26 .....	94
Quadro 4.22 – Área total de vãos envidraçados do edifício .....	95
Quadro 4.23 – Simulações realizadas para avaliação da influência do aumento do nível de ventilação sobre o desempenho do edifício .....	95
Quadro 4.24 – Simulações realizadas para avaliação da influência do aumento do nível de ocupação sobre o desempenho do edifício .....	95
Quadro 5.1 – Solução para otimização da envolvente do edifício em estudo .....	103
Quadro 5.2 – Edifício em estudo versus solução proposta .....	104



## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

ADENE – Agência para a Energia

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers

COMFIE – Calcul d’Ouvrages Multizones Fixé à une Interface Experte

EPS – Poliestireno Expandido Moldado

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

$g_{\perp}$  - Fator Solar

INE – Instituto Nacional de Estatística

ISO – International Organization for Standardization

$N_{ic}$  – Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento [kWh/m<sup>2</sup>.ano]

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

RT – Règlementation Thermique Française

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

U – Coeficiente de Transmissão Térmica [W/m<sup>2</sup>°C]



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

Desde sempre, mas principalmente ao longo das últimas décadas, os edifícios construídos têm registado melhorias no seu desempenho em vários domínios, nomeadamente como resultado do aumento das exigências para com o conforto interior.

No entanto, uma vez construídos, a maioria das características dos edifícios permanecem constantes. Por serem estáticos e representarem elevados custos, pode não existir viabilidade suficiente para que possam ser atualizados a um ritmo semelhante ao da evolução do bem-estar dos utilizadores e das características do mercado económico.

Atualmente, fruto da sua arquitetura e da utilização de materiais de outra época, os edifícios antigos parecem não oferecer o mesmo nível de conforto térmico, porque são demasiado frios na estação de inverno, ou porque são propícios ao sobreaquecimento durante a estação de verão.

Compreendendo que qualquer indivíduo exige sentir-se confortável durante a realização de qualquer atividade desempenhada no interior de um edifício, neste caso em edifícios antigos, ele procurará, dentro das suas possibilidades, recorrer a um sistema de aquecimento ou arrefecimento que lhe confira o ambiente desejado.

Por outro lado, o início do século XXI está a assinalar-se como um período atribulado do ponto de vista económico, com os custos energéticos a serem cada vez mais elevados. Além disso, a população em geral atravessa grandes dificuldades como resultado do enorme desemprego e do custo de vida mais caro.

Se para melhorar o ambiente interior dos edifícios antigos são necessários elevados custos de exploração (para aquecimento ou arrefecimento do ambiente), será a construção de novos edifícios mais eficientes do ponto de vista energético a solução a adotar?

Os dados estatísticos do Instituto Nacional de Estatística demonstram que existem mais edifícios de habitação que os necessários, continuando a existir, no entanto, necessidades de habitação (edifícios com falta de equipamentos, infraestruturas ou sem condições de habitabilidade). Acresce ainda que os setores público e privado não possuem disponibilidades financeiras como em tempos anteriores.

Indubitavelmente, o melhor compromisso pode passar pela reabilitação do edificado antigo. Urge então perceber se uma intervenção nesse edificado consegue suprimir o desconforto térmico, exigindo para isso um consumo energético bastante reduzido ou nulo.

O estudo deste tema exige então uma leitura atenta a diversos documentos, para que se identifiquem os elementos construtivos mais fáceis e eficazes de alterar na envolvente, com vista a um melhor desempenho do edifício. No entanto, o desempenho do edifício deverá ser quantificado, necessitando-se por isso de definir as condições mais desejáveis no interior para que exista conforto térmico. Assim, o autor serve-se de várias publicações: Norma ISO 7730:2005 [10], Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios [12] e Règlementation Thermique Française [14].

Atendendo ao tema em estudo, nas principais publicações a ele relativas, incluem-se o de António Piedade, António Rodrigues e Luis Roriz[9], Anésia Frota e Sueli Schiffer [12], Vasco Freitas, Ana Guimarães e Cláudia Ferreira [16] e Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark e Martin Zeumer [28].

A avaliação da influência de cada elemento construtivo no desempenho térmico do edifício é realizada recorrendo a um programa informático designado por Pleaides que permite o cálculo em regime dinâmico das temperaturas horárias em cada compartimento ao longo de um ano, bem como do consumo energético para qualquer condição de utilização definida.

Seguindo uma publicação destinada à reabilitação de edifícios existentes [16], que fixa através de uma normalização vários níveis de qualidade térmica para os vários elementos da envolvente, procede-se à determinação e avaliação da melhor solução para a envolvente de um edifício antigo proposto pelo Orientador Científico. A melhor solução corresponde à integração dos diferentes elementos construtivos associados a um nível de qualidade térmica.

## **1.2. INTERESSE E OBJETIVOS**

O desenvolvimento da presente dissertação assenta fundamentalmente na necessidade de se proceder à otimização da envolvente exterior de edifícios antigos de modo a melhorar o seu desempenho térmico, para que possam cumprir os requisitos atuais dos utilizadores, relativamente ao conforto e ao consumo energético.

A otimização torna-se algo complexa na medida em que a envolvente é composta por vários elementos construtivos diferentes. Para além disso, a variação das características térmicas de cada elemento conduz a diferentes resultados em função das características dos restantes.

Desta forma, este trabalho tem como principal objetivo a realização de estudos de sensibilidade que conduzam à otimização da envolvente exterior de um edifício residencial antigo recorrendo ao programa de cálculo Pleaides 3.0.5.5, com vista a melhorar o seu desempenho térmico.

Para concretizar esse objetivo, são delineados outros objetivos parciais relativos ao desempenho do edifício:

- Avaliação da reabilitação operada no edifício em estudo;
- Avaliação da influência do reforço do isolamento térmico pela cobertura;
- Avaliação da influência da aplicação de isolante térmico pelo exterior e interior das paredes exteriores;
- Avaliação da influência do reforço do isolamento térmico pelas paredes exteriores;
- Avaliação da influência do reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados;
- Avaliação da influência das condições de utilização do edifício.

### 1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO

A procura pela concretização dos objetivos a que o autor se propõe passa pelo desenvolvimento de um estudo composto fundamentalmente por quatro partes, organizadas individualmente por capítulos:

- A primeira parte, correspondente ao Capítulo 2, destina-se a uma análise crítica e ampla de publicações com interesse para o tema em estudo. Aí, identificam-se os motivos que reforçam a necessidade de se proceder à reabilitação térmica dos edifícios antigos, evidenciam-se os aspetos que permitem avaliar o estado de conforto de um edifício residencial e expõe-se ainda de modo sintetizado as ações a levar a cabo na envolvente com vista à otimização de edifícios antigos.
- A segunda parte, correspondente ao Capítulo 3, apresenta as principais características do programa em regime dinâmico utilizado para o estudo, bem como a descrição de todas as funcionalidades do programa, pela ordem segundo a qual se realizam as simulações.
- A terceira parte, correspondente ao Capítulo 4, serve principalmente a análise de um edifício antigo recentemente reabilitado, realizando-se vários estudos de sensibilidade através do programa de cálculo Pleaides. Esses estudos têm como objetivo avaliar a influência de cada elemento construtivo sobre o desempenho térmico do edifício. Inicialmente faz-se a apresentação do caso de estudo, caracterizando-se o edifício e as condições de utilização a que vai estar sujeito, procedendo-se depois às simulações e respetivas análises.
- A quarta parte, correspondente ao Capítulo 5, acolhe todas as ilações conseguidas com os estudos de sensibilidade, fazendo uso da bagagem teórica adquirida com a revisão da literatura. Para além de se responder aos objetivos propostos, são indicadas perspetivas de investigação futuras no âmbito deste tema.



# 2

## ESTADO DA ARTE

### 2.1. A REABILITAÇÃO E A ENERGIA – O PANORAMA NACIONAL

A população, como matéria-prima de sociedades cada vez mais dinâmicas, tende a procurar na natureza recursos que permitam a satisfação dos seus requisitos. Como se não bastasse o aumento da procura individual, verifica-se desde sempre um crescimento da população mundial, cada vez mais acelerado devido ao desenvolvimento incessante da medicina e das condições de higiene.

Este comportamento, associado a uma elevada taxa do desenvolvimento económico e tecnológico, implica uma crescente produção de energia que ainda é feita sobretudo através de combustíveis fósseis, originando consequências negativas para o ambiente bem como tensões sociais.

Além disso, à produção de energia estão associados elevados custos económicos, que não só dizem respeito à extração e transformação dos combustíveis fósseis como também a coimas por incumprimento do Protocolo de Quioto, no caso de países aderentes como é o caso de Portugal. Assim, é imprescindível uma gestão racional dos mesmos, devendo para isso criar-se estruturas regulamentares que visem o cumprimento de determinados objetivos, atuando sobre os principais consumidores de energia, nomeadamente os edifícios, a indústria e os sistemas de transporte.

Em Portugal, embora a parcela de energia consumida nos edifícios não seja tão significativa como noutros países, tal como é demonstrado no Quadro 2.1 (do consumo energético total apenas 17 % se destina ao setor da habitação), foram publicados na década de 90 dois regulamentos: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE).

Estes regulamentos, pretendiam impor um conjunto de regras técnicas para a conceção de edifícios e respetivos sistemas de climatização, destinadas a promover uma maior salubridade, conforto e qualidade de construção, garantindo em simultâneo um menor consumo energético.

No entanto, embora os dois regulamentos fossem de cariz obrigatório, *“uma grande percentagem dos edifícios então construídos não cumpriam os requisitos mínimos devido à baixa exigência dos mesmos e também pela falta de capacidade das entidades licenciadoras na fiscalização da aplicação daqueles”* [1].

Quadro 2.1 – Distribuição do consumo energético por setores em países europeus no ano 2007 [2]

Países	Total	Indústria	Transportes	Habitação	Agricultura	Serviços
Bélgica	100%	35%	27%	23%	2%	12%
Dinamarca	100%	19%	35%	28%	5%	12%
Alemanha	100%	27%	30%	29%	1%	13%
Grécia	100%	21%	40%	24%	5%	10%
Espanha	100%	27%	43%	16%	3%	11%
França	100%	22%	33%	27%	2%	16%
Itália	100%	31%	34%	21%	2%	11%
Holanda	100%	28%	31%	18%	8%	15%
Portugal	100%	31%	38%	17%	1%	12%
Finlândia	100%	49%	19%	19%	3%	10%
Suécia	100%	38%	26%	20%	2%	13%
Reino Unido	100%	22%	38%	27%	1%	12%
EU27	100%	28%	33%	25%	2%	13%

Preocupada com os efeitos negativos gerados pela dependência de energia relativamente a países terceiros e com o cumprimento do Protocolo de Quioto, que não tardava a principiar, foi em inícios de 2001 que a União Europeia lançou a Diretiva n.º 2002/91/CE.

Assim, impulsionado pela diretiva, o Ministério da Economia desafiou a Agência para a Energia (ADENE) a preparar linhas orientadoras para uma intervenção estruturada e sustentada na área da eficiência energética nos edifícios. Daqui, resultou o apoio técnico à reformulação dos regulamentos existentes, RCCTE e RSECE, e a criação de um Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios (SCE). Depois de revistos, os RSECE e RCCTE passaram a ser de aplicação obrigatória desde julho de 2006.

Focando a atenção nos edifícios antigos, tema que se pretende estudar, a aplicação do SCE sobre estes teve início no dia 1 de janeiro de 2009, como define a Portaria 461/2007.

Exposta a evolução do quadro regulamentar, importa fazer referência ao consumo energético nacional do setor doméstico, pois este enquadramento legal foi criado com o intuito de promover uma utilização de energia mais racional e eficiente.

A recolha de dados sobre o consumo de energia em Portugal no setor doméstico data de 1989. Desde então que é possível perceber qual o peso do setor doméstico no consumo final de energia. Observando a Figura 2.1, pode-se aferir que globalmente o consumo final de energia tem vindo a aumentar, apesar de nos últimos 5 anos (do gráfico) se apresentar praticamente constante, identificando-se o consumo máximo no ano de 2005. Não obstante, o peso do setor doméstico no consumo final ter decrescido quase que linearmente até 2001, tem vindo a aumentar de forma reduzida desde então.



Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), a primeira constatação deve-se ao facto de a população despende mais energia com os veículos que com o alojamento. No entanto, a energia consumida pelos alojamentos tende a aumentar desde o primeiro registo de dados, como está apresentado no Quadro 2.2. Tal é compreensível pois cada vez é maior o número de equipamentos instalados nas habitações e no próprio edifício.

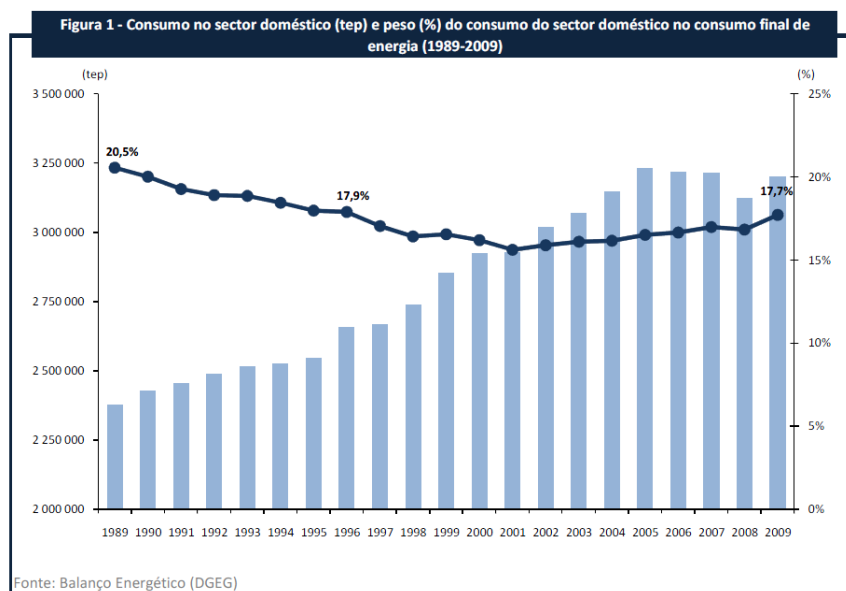


Figura 2.1 – Consumo de energia nacional no setor doméstico para o período compreendido entre 1989 e 2009 [3]

Quadro 2.2 – Consumo de energia nacional no setor doméstico [3]

	Ano		
	1989	1996	2010
tep/ano	2.455.833	2.684.027	2.816.350
GWh/ano	28.561.338	31.215.234	32.754.151

Ainda sobre o consumo energético do setor doméstico, apenas uma pequena parte do dispêndio de energia neste setor se deve às necessidades de aquecimento e arrefecimento (Figura 2.2). Apesar de a população não despende muita energia para aquecimento, reconhece-se que os edifícios são desconfortáveis por falta de aquecimento (Figura 2.3). Este fenómeno poderá indicar que parte da população não terá condições, nomeadamente económicas, para aquecer o interior das suas habitações.

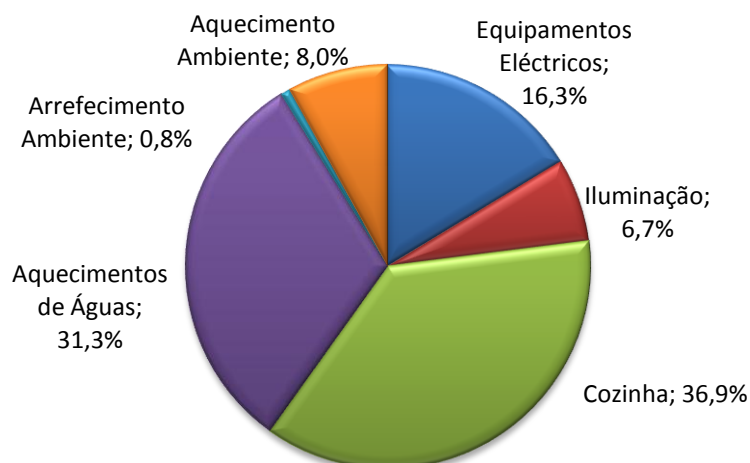


Figura 2.2 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de uso em 2010 [3]

	1994	1995	1996	1997
Falta de espaço	38,3	33,4	32,8	32,8
Ruído	18,0	16,4	23,7	24,5
Falta de luminosidade	17,2	17,2	16,8	18,7
Falta de condições de aquecimento	40,9	38,5	38,9	41,0
Telhado que mete água	19,1	15,3	16,2	16,8
Fundações, paredes ou chão húmidos	35,7	32,6	33,7	37,6
Caruncho nos caixilhos das janelas ou no soalho	27,9	28,0	27,8	28,9
Poluição ou outro problema ambiental	18,6	19,1	17,8	19,4
Crime ou vandalismo	18,7	21,6	22,1	21,3

Figura 2.3 – Problemas percebidos do alojamento em Portugal (dados relativos a indivíduos, em %) [4]

Dessa forma a reabilitação energética do edificado reveste-se de elevada importância pois poderá permitir uma maior poupança de energia e maior satisfação face ao conforto interior das habitações.

A necessidade em se reabilitar os edifícios do ponto de vista energético pode ser intensificada por parte do edificado precisar de ser intervencionado, como ilustra o Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Necessidades de reparações dos edifícios [5]

	Proporção de Edifícios Muito Degradados (%)	Proporção de Edifícios com Necessidades de Reparação (%)
Continente	2,9	38,1
Reg . Aut. Açores	2,5	31,9
Reg . Aut. Madeira	2,4	36,4

Segundo estimativas realizadas pelo INE em 2010, apresentadas no Quadro 2.4, constata-se que num intervalo de treze anos, não muito distante da atualidade, foram criados mais de um milhão de alojamentos e cerca de quinhentos mil edifícios.

Pese embora o número elevado de alojamentos, continuam a existir em determinadas zonas do país necessidades de habitação devido ao estado de conservação do edificado e aos problemas de equipamentos ou falta deles (alojamento superlotados, ausência de instalações sanitárias, entre outros). Dessa forma, a construção de novos edifícios deve dar lugar à sua reabilitação, com vista a uma ocupação sustentável do território nacional.

Quadro 2.4 – Número de edifícios de habitação familiar clássica e alojamentos familiares clássicos [6]

	Edifícios de Habitação Familiar Clássica	Alojamentos Familiares Clássicos
1995	2.974.740	4.503.329
2000	3.148.349	5.007.100
2005	3.342.270	5.472.826
2006	3.371.282	5.538.276
2007	3.398.713	5.601.753
2008	3.425.852	5.663.178

Numa época em que o recurso solo já está demasiado explorado e atendendo ao que foi referido no parágrafo anterior, urge a necessidade de se proceder a uma contenção do espaço urbano e até periférico, privilegiando o rejuvenescimento do edificado existente.

A complexidade do processo passa também por nivelar as características do edificado a reabilitar com as exigências atuais do utilizador que não está disposto a prescindir da comodidade desejada. Para além disso, a intervenção num edifício antigo não o deve descaracterizar, devendo manter-se a sua imagem e os valores histórico e económico, para além de que os elementos que compõe a solução a considerar devem coexistir de forma harmoniosa com os materiais tradicionais como a madeira e a pedra.

Para além de todos os argumentos já apresentados e de reconhecida a necessidade de reabilitar inúmeros edifícios, a reabilitação energética de edifícios antigos reveste-se mais uma vez de bastante importância pois está associada a edifícios que não apresentam quaisquer características e preocupações com vista à gestão racional de energia.

Se noutros tempos o seu desempenho a este nível não era questionado, hoje, tal não acontece. Portugal sempre foi um país bastante dependente da importação de produtos energéticos devido à inexistência em território nacional de energia primária tal como carvão mineral, petróleo ou gás natural.

Uma vez que, ao longo das últimas décadas, o poder de compra da população foi aumentando, devido à procura de um maior bem-estar, foi-se registando, tal como se enunciou anteriormente, um crescente consumo de energia no setor da habitação. Todavia, quando o custo do petróleo começou a disparar para valores recordes, os gastos globais com a energia passaram a constituir fortes preocupações. Hoje, mesmo reduzindo o consumo de petróleo, o seu custo unitário é tão mais elevado, que resultam mais gastos económicos [7].

Reforçando a ideia do parágrafo anterior, constata-se que o custo unitário da energia elétrica tem aumentado nas últimas décadas, estimando-se que tal continue a acontecer, como é ilustrado na Figura 2.4.

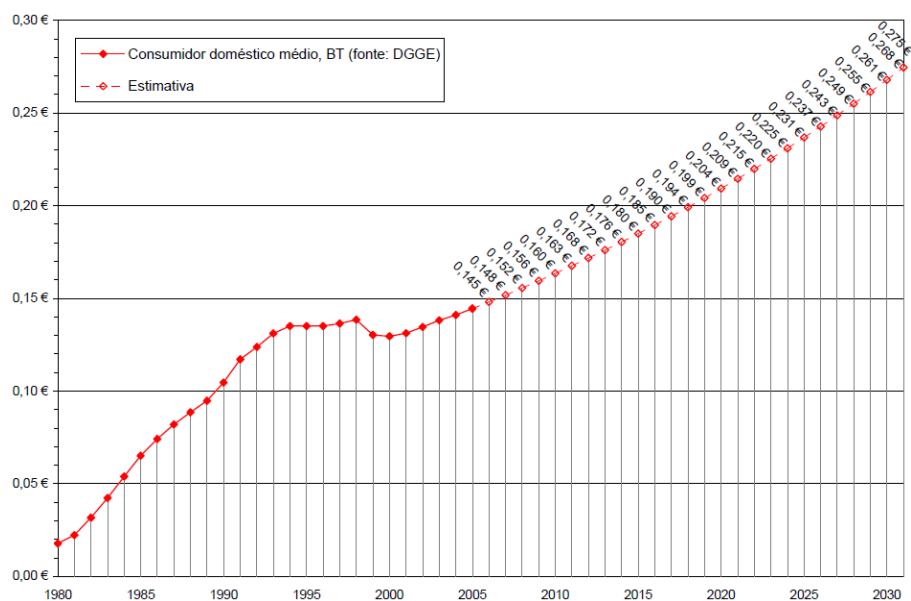


Figura 2.4 – Evolução do custo unitário da energia elétrica para um consumidor doméstico médio (baixa tensão) [8]

Segundo dados reunidos dos Censos de 2001, apresentados no Quadro 2.5, existiam nessa data em Portugal 3.160.043 edifícios, dos quais 955.858 foram construídos antes de 1961, significando que cerca de 30% dos edifícios possuíam naquela data pelo menos 40 anos. Não sendo ainda possível conhecer o número exato de edifícios construídos há mais de 40 anos que compõe atualmente o território nacional, é compreensível que no decorrer da última década o parque habitacional tenha envelhecido ainda mais.

Quadro 2.5 – Número de edifícios por época de construção [9]

Época de Construção	Nº de Edifícios
Antes de 1919	253.880
De 1919 a 1945	344.936
De 1946 a 1960	357.042
De 1961 a 1970	395.262
De 1971 a 1980	553.349
De 1981 a 1985	359.579
De 1986 a 1990	289.351
De 1991 a 1995	279.146
De 1996 a 2001	327.498
Total em Portugal	3.160.043

Pelo número de edifícios com mais de 40 anos presentes no território, se estes forem forçados ou incentivados a proceder a uma reabilitação energética, percebe-se que existirá um grande potencial para uma redução do consumo de energia no setor doméstico.

Atendendo às preocupações referidas anteriormente, importa perceber como isolar termicamente os elementos construtivos que compõem a envolvente do edifício, para que se consiga oferecer bem-estar aos utilizadores, reduzindo o consumo energético.

## 2.2. O CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

*“O ambiente interno dos edifícios deve ser de molde a que, com vestuário apropriado, os utentes possam realizar as suas atividades sem sensação de desconforto, causada nomeadamente por trocas de calor exageradas ou desigualdade exagerada de temperatura entre diversas partes do corpo”* [10].

O conforto térmico é, portanto, o *“estado de espírito que expressa satisfação relativamente ao ambiente térmico”* [11].

O conforto térmico representa uma importante característica nos edifícios, nomeadamente devido à maior permanência humana no seu interior que acaba por originar alterações no seu ambiente. Os indivíduos trabalham cada vez mais dentro de casa, para além de que a preparação das refeições e lavagens fazem-se no interior e não no logradouro como noutros tempos.

No decorrer das últimas décadas, por imposição dos regulamentos e outras ações que visavam também a maximização do bem-estar, as características arquitetónicas e construtivas têm-se alterado tal como a composição do interior dos edifícios. Envolventes mais isoladas, uma maior diversidade de substâncias químicas por utilização de variadíssimos materiais e objetos e ainda a adoção de um elevado número de equipamentos mecânicos têm resultado na alteração de parâmetros ambientais, diretamente associados ao conforto térmico.

Posto o referido no parágrafo anterior, importa acentuar que existem situações capazes de gerar direta ou indiretamente diferentes temperaturas para os espaços habitáveis, dentro e fora do intervalo de temperaturas toleráveis. Compreendendo o nível de complexidade deste problema e atendendo às preocupações da população para com a saúde e bem-estar, importa identificar, para efeitos de projeto, qual o intervalo de temperatura que permite maximizar a satisfação humana relativamente ao seu conforto no interior do edifício.

No entanto, tal se reveste de alguma dificuldade, pois a perceção de conforto térmico depende também de *“fatores psicosociais relacionados com hábitos sociais e culturais de um indivíduo, bem como pelas suas expectativas e atitudes face ao ambiente interior”* [12]. Não obstante o referido anteriormente, *“as condições ambientais capazes de proporcionar sensação de conforto térmico em habitantes de clima quente e húmido não são as mesmas que proporcionam a mesma sensação em habitantes de clima quente e seco, por exemplo”* [13]. Para além disso, a perceção de conforto térmico varia também com o vestuário e com a atividade que cada indivíduo realiza num espaço interior.

O tipo de utilização do edifício por parte dos ocupantes influencia as cargas térmicas, podendo resultar num menor ou maior conforto, em função da estação climática:

- Tipo de atividade praticada pelos utilizadores;
- Quantidade de utilizadores;
- Período de ocupação.

Para que se possa avaliar o conforto térmico interior, recorre-se a alguns instrumentos que definem algumas condições para que exista conforto térmico no interior de um edifício, nomeadamente ao RCCTE, à norma ISO-7730 e à *Règlementation Thermique Française*.

Essa definição é feita segundo a quantificação de alguns parâmetros ambientais que influenciam o conforto térmico no interior dos edifícios [11]:

- Temperatura do ar interior;
- Humidade relativa do ar;
- Velocidade do ar;
- Temperatura média radiante.

#### 2.2.1. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

Aprovado pelo Decreto-Lei n.º40/90, este regulamento entrou em vigor pela primeira vez no início do ano de 1991, constituindo o primeiro instrumento legal em Portugal a impor requisitos no projeto de edifícios novos com vista à obtenção de conforto térmico no interior dos mesmos sem consumos de energia exagerados.

De forma a torná-lo mais eficaz, mantendo a mesma metodologia de aplicação, entra em vigor no primeiro semestre de 2006 o RCCTE, entretanto atualizado graças ao Decreto-Lei 80/2006. Com ele, a partir do dia 1 de julho de 2009, todos os edifícios existentes sujeitos a obras de remodelação com um custo superior a 25 % do seu valor passam a ter de cumprir o estipulado neste regulamento.

Prevalecendo até à atualidade, este regulamento recomenda algumas condições de referência para que os ocupantes de um dado edifício possam usufruir de um ambiente térmico confortável:

Quadro 2.6 – Condições para o ambiente interior [14]

	Estação de	
	Aquecimento	Arrefecimento
Temperatura Interior (°C)	20 <sub>(mínimo)</sub>	25 <sub>(máximo)</sub>
Humidade Relativa Interior (%)	-	50
Renovação do Ar (h <sup>-1</sup> )	0,6	

### 2.2.2. NORMA EN ISO 7730:2005

A Norma aqui considerada foi desenvolvida com a missão de avaliar ambientes térmicos moderados e especificar as condições térmicas para a existência de conforto.

Segundo a Norma, um espaço apresenta condições de conforto térmico quando não mais do que 10% dos seus ocupantes se sintam desconfortáveis, pois é impossível reunir total satisfação daqueles que frequentam o mesmo espaço. Verifica-se inclusive num estudo realizado por Fanger (1972) que, independentemente das condições ambientais, nunca se conseguem menos de 5% de descontentes com o ambiente interior.

Para que um determinado espaço interior possa oferecer conforto térmico a pelo menos 90% dos seus ocupantes, a Norma ISO 7730:2005 recomenda a satisfação de um conjunto de regras [10] [11].

Dessas regras, a grande maioria não pode ser verificada pelos resultados obtidos com o programa utilizado para a realização das simulações (Capítulo 4). Assim, referem-se apenas aquelas que podem ser observadas nos resultados.

Supondo que os utilizadores de um edifício desempenham uma atividade sedentária, a temperatura a registar no seu interior para que exista conforto deve estar compreendida entre:

- 20 °C e 24 °C ( $22 \pm 2$  °C) para a estação climática de inverno.
- 23 °C e 26 °C ( $24,5 \pm 1,5$  °C) para a estação climática de verão.

### 2.2.3. RÈGLEMENTATION THERMIQUE FRANÇAISE

A França, tal como Portugal, ao assinar o protocolo de Quioto como forma de anunciar a luta contra o efeito de estufa, assumiu também a vontade de reduzir o consumo de energia dos edifícios criando o Plan Climat 2004. Este instrumento, transpõe as medidas invocadas pela diretiva 91/2002 de 16 de dezembro de 2002 e define de uma forma clara quais os objetivos a satisfazer pela Règlementation Thermique Française, posteriormente referida por RT.

Criada inicialmente em 1974, foi sofrendo alterações relativas à sua exigência e âmbito de aplicação, tendo surgido desde então os documentos RT 1988, 2000 e 2005.

A RT 2005, em vigor desde 1 de setembro de 2006 sobre os edifícios de habitação, tem então como objetivos melhorar o desempenho energético dos edifícios em pelo menos 15% face ao desempenho com a aplicação da RT 2000, reduzir a utilização do ar condicionado e o consumo de eletricidade e possibilitar ainda um maior conforto na estação de arrefecimento. Desse modo, a RT 2005 surgiu para substituir a RT 2000, tendo-se reforçado o limite mínimo para a ventilação, o sistema de aquecimento e o isolamento [15].

Relativamente ao conforto no interior da habitação, o presente regulamento impõe a satisfação das condições apresentadas no Quadro 2.7.

Quadro 2.7 – Condições a satisfazer segundo a RT 2005 [12] [15]

	Utilização do Espaço (h)	Estação de	
		Aquecimento	Arrefecimento
Temperatura Interior (°C)	Permanente	19 <sub>(mínimo)</sub>	26 <sup>1</sup> <sub>(máximo)</sub>
	Não utilizado por período período de 24 a 48 h	16 <sub>(mínimo)</sub>	-
	Não Utilizado para períodos superiores a 48 h	8 <sub>(mínimo)</sub>	-

### 2.3. DEFINIÇÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS

A envolvente dos edifícios pode ser avaliada segundo a quantificação dos fatores solares dos envidraçados e dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos construtivos que compõe a envolvente opaca.

A atual legislação portuguesa obriga a que os fatores solares e os coeficientes de transmissão térmica dos elementos constituintes da envolvente dos edifícios novos sejam inferiores aos valores máximos aí estipulados. No entanto, a mesma legislação estende tal obrigatoriedade aos edifícios existentes caso sofram obras de alteração ou remodelação, mas apenas quando o custo da intervenção é superior a 25% do valor de referência do edifício [14].

De modo a garantir um melhor comportamento térmico dos edifícios novos e existentes, aumentando o conforto interior e diminuindo o consumo de energia, o RCCTE publica valores de referência para os coeficientes de transmissão térmica e fatores solares.

Para os edifícios existentes, a ADENE sugere ainda um conjunto de níveis de qualidade térmica a aplicar aos elementos construtivos da envolvente opaca e envidraçada, reforçando o comportamento térmico desses edifícios [16].

A definição desses níveis de qualidade térmica é feita aplicando a cada valor de referência do coeficiente de transmissão térmica e do fator solar, um conjunto de coeficientes de redução, sendo melhor a qualidade térmica, quanto menor for o coeficiente.

<sup>1</sup> Em espaços com sistemas mecânicos de arrefecimento, estes só devem ser activados para temperaturas interiores superiores à apresentada



## 2.3.1. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA MÁXIMOS E DE REFERÊNCIA

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis de elementos opacos e dos coeficientes de transmissão térmica de referência, são ilustrados nos Quadros 2.8 e 2.9, respetivamente.

Quadro 2.8 – Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis de elementos opacos –  $U_{\max}$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) [14]

		Zona Climática de inverno		
		$I_1$	$I_2$	$I_3$
Elementos em Zona Corrente	Envolvente Exterior Vertical	1,80	1,60	1,45
	Envolvente Exterior Horizontal	1,25	1	0,90
	Envolvente Interior Vertical	2	2	1,90
	Envolvente Interior Horizontal	1,65	1,30	1,20

Quadro 2.9 – Coeficientes de transmissão térmica de referência –  $U_{ref}$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) [14]

		Zona Climática de inverno			
		$I_1$	$I_2$	$I_3$	$RA^2$
Elementos em Zona Corrente	Envolvente Exterior Vertical	0,70	0,60	0,50	1,40
	Envolvente Exterior Horizontal	0,50	0,45	0,40	0,80
	Envolvente Interior Vertical	1,40	1,20	1	2
	Envolvente Interior Horizontal	1	0,90	0,80	1,25
Envidraçados		4,30	3,30	3,30	4,30

## 2.3.2. FATORES SOLARES MÁXIMOS E DE REFERÊNCIA

Relativamente aos vãos envidraçados, o RCCTE determina que nenhum vão envidraçado da envolvente de um edifício, com área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que serve, pode apresentar um fator solar superior aos indicados no Quadro 2.10, excetuando aqueles que estejam orientados a norte (entre nordeste e noroeste). Esses valores consideram a existência dos dispositivos de proteção solar 100% ativos sobre os vãos envidraçados. Para envidraçados desse tipo, o RCCTE estipula valores de referência para os fatores solares, ilustrados no Quadro 2.11.

<sup>2</sup> Regiões autónomas da Madeira e dos Açores

Quadro 2.10 – Fatores solares máximos admissíveis para o verão –  $g_{\perp \max}$  [14]

		Zona Climática de verão		
		V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
Classe de Inércia Térmica	Fraca	0,15	0,15	0,10
	Média	0,56	0,56	0,50
	Forte	0,56	0,56	0,50

Quadro 2.11 – Fatores solares de referência para o verão –  $g_{\perp \text{ref}}$  [14]

Zona Climática de verão		
V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
0,25	0,2	0,15

### 2.3.3. NÍVEIS DE QUALIDADE

Com vista a um dimensionamento térmico de envoltantes mais exigentes, existem quatro níveis de qualidade térmica a adotar para o isolamento da envolvente opaca, apresentados no Quadro 2.12.

Quadro 2.12 – Níveis de qualidade térmica para a envolvente opaca [14] [17]

Níveis de Qualidade	Coefficiente de Transmissão Térmica ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
N <sub>1</sub>	$U_{\text{ref}}$
N <sub>2</sub>	$0,75 \times U_{\text{ref}}$
N <sub>3</sub>	$0,60 \times U_{\text{ref}}$
N <sub>4</sub>	$0,50 \times U_{\text{ref}}$

Relativamente aos vãos envidraçados, também com vista a um dimensionamento mais exigente, são indicados quatro níveis de qualidade térmica, que são apresentados igualmente no Quadro 2.13.

Quadro 2.13 – Níveis de qualidade térmica para os vãos envidraçados [14] [17]

Níveis de Qualidade	Coefficiente de Transmissão Térmica ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	Fator Solar
N <sub>1</sub>	$U_{\text{ref}}$	$0,25 \leq g_{\perp} < 0,56$
N <sub>2</sub>	$0,75 \times U_{\text{ref}}$	$0,10 \leq g_{\perp} < 0,25$
N <sub>3</sub>	$0,60 \times U_{\text{ref}}$	$g_{\perp} < 0,1$

## 2.4. FATORES SUSCETÍVEIS DE ALTERAÇÃO NUM EDIFÍCIO EXISTENTE QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO ENERGÉTICO E DE CONFORTO TÉRMICO

A otimização do desempenho energético e térmico de um edifício existente reveste-se sempre de bastante dificuldade.

Primeiro, porque existem várias características de extrema importância no que respeita ao comportamento térmico que são definidas na fase de projeto para a construção do edifício como por exemplo a sua orientação, forma e sombreamento, bem como a organização dos seus espaços interiores.

Segundo, a intervenção sobre um edifício antigo deve assumir uma determinada viabilidade económica, nunca esquecendo que um edifício desta idade não necessita apenas de uma intervenção relativa ao seu desempenho térmico mas pode também necessitar da resolução de patologias e reforço de equipamentos e infraestruturas.

Finalmente, um edifício antigo pode ser alvo de certas condicionantes arquitetónicas e construtivas impedindo a realização de determinadas obras.

Compreendo as dificuldades inerentes à otimização do desempenho energético e de conforto térmico de edifícios existentes, importa perceber como intervir num edifício deste tipo. Para além da colocação de isolante térmico na envolvente opaca, o aumento da inércia térmica e do isolamento térmico de vãos envidraçados, bem como um melhor controlo da radiação solar, podem resultar bastante bem. Segundo Armando Oliveira, “... a utilização de envolventes massivas adequadamente isoladas, associada à proteção da entrada de radiação solar no interior e à ventilação noturna, é, em princípio, suficiente para (garantir) as condições mínimas de conforto (no período de verão) ...” [18].

### 2.4.1. AUMENTO DA INÉRCIA TÉRMICA

#### 2.4.1.1. Análise do fenómeno

Quando o ambiente exterior ou o interior possui uma temperatura superior à de um elemento construtivo ou até quando a radiação solar incide diretamente sobre aquele, forma-se um fluxo de calor com o sentido da maior para a menor temperatura. O elemento vai sendo aquecido progressivamente por condução, armazenando calor no seu interior. Posteriormente, o calor acumulado é emitido para o ambiente que se apresentava com menor temperatura.

O fenómeno descrito no parágrafo anterior designa-se por inércia térmica e engloba simultaneamente a acumulação de calor e a sua libertação para o ambiente interior através dos mecanismos de transferência de convecção e radiação [19].

A acumulação de calor ou armazenamento térmico consiste em reter o calor que excede as necessidades imediatas com o objetivo de poder libertá-lo quando for necessário, podendo demorar horas, dias ou semanas. Neste processo funcionam dois conceitos que importa referir: o desfasamento e o amortecimento [20]. Estes conceitos variam com a espessura da parede e a condutibilidade térmica dos materiais constituintes, mas também com a sua capacidade calorífica, aumentando esta com o calor específico e a massa volúmica, ou seja o peso [21].

O desfasamento corresponde ao tempo que decorre entre o ponto da temperatura máxima alcançada na superfície exposta do elemento construtivo e o ponto em que a temperatura máxima é alcançada na superfície oposta, em contacto com o ambiente interior. Já o amortecimento consiste na amenização dos picos de temperatura interior.

Com efeito, o armazenamento térmico permite atrasar os efeitos da radiação solar captada evitando um sobreaquecimento demasiado rápido no interior do edifício (Figura 2.5), sendo uma característica interessante para a estação de arrefecimento.

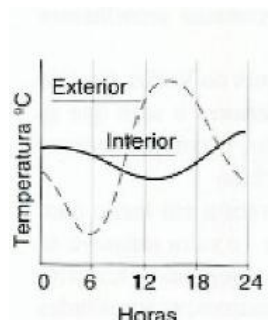


Figura 2.5 – Efeitos da inércia térmica [10]

Para o caso de edifícios residenciais em território nacional, deseja-se que os elementos construtivos possuam uma grande inércia térmica de modo a que o ambiente interior se possa manter fresco durante o dia, enquanto armazenam o calor, que vai migrando lentamente para o interior, que é apenas libertado durante a noite [20]. Assim, durante a noite, a temperatura interior diminuirá com menor intensidade, ocorrendo um retardamento das perdas térmicas por condução para o exterior [22].

Se a inércia térmica for reduzida, os vários elementos construtivos não conseguem armazenar calor, reagindo rapidamente às diferentes condições exteriores: no caso da estação de verão, de dia teríamos situações de sobreaquecimento e à noite um rápido arrefecimento.

#### 2.4.1.2. Posição do isolante térmico

Para que um edifício residencial possua uma elevada inércia térmica, não basta por si só adotar elementos construtivos de elevada massa, como por exemplo espessas paredes em pedra de granito. É certo que quanto maior a massa de um material, maior será a sua capacidade de armazenar energia, no entanto, a colocação de isolante térmico pelo interior da parede pode neutralizar a absorção de calor gerado no interior durante o período de inverno (Figuras 2.6 e 2.8).

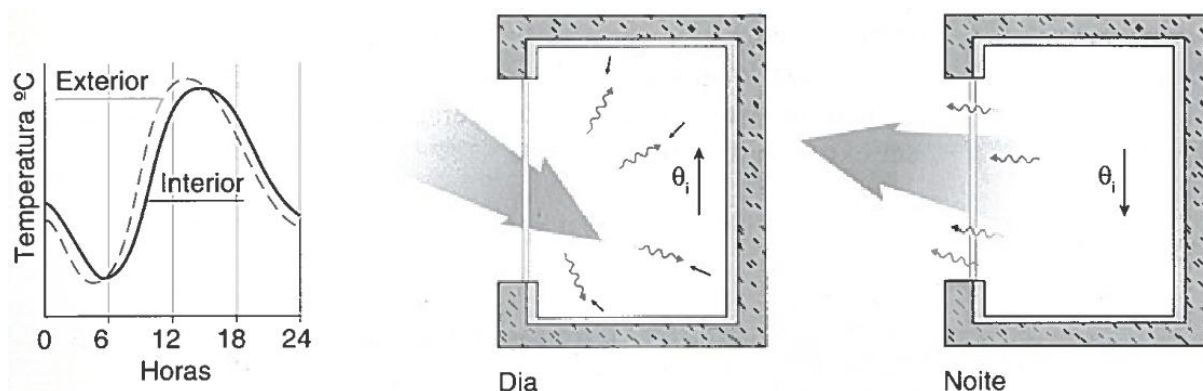


Figura 2.6 – Neutralização da absorção de calor com isolante térmico pelo interior [10]

Embora o posicionamento dos elementos de maior massa pelo lado interior do isolante térmico, possa parecer uma escolha óbvia, pois é mobilizada maior inércia, nem sempre é mais conveniente optar por esta solução. Quando existem condicionantes arquitetónicas ou construtivas, pode ser inevitável recorrer à aplicação de isolante térmico pelo interior.

Se para a estação de aquecimento, os elementos construtivos estiverem providos de isolamento térmico pelo exterior, durante o dia, fruto dos ganhos internos e solares pelos envidraçados, o calor tende a infiltrar-se e a conservar-se nas paredes envolventes. Assim, quando a temperatura interior cair bastante (o que acontece no período noturno), o calor armazenado pelo elemento será devolvido por radiação, verificando-se um amortecimento do efeito do abaixamento de temperatura (Figuras 2.7 e 2.8) [20].

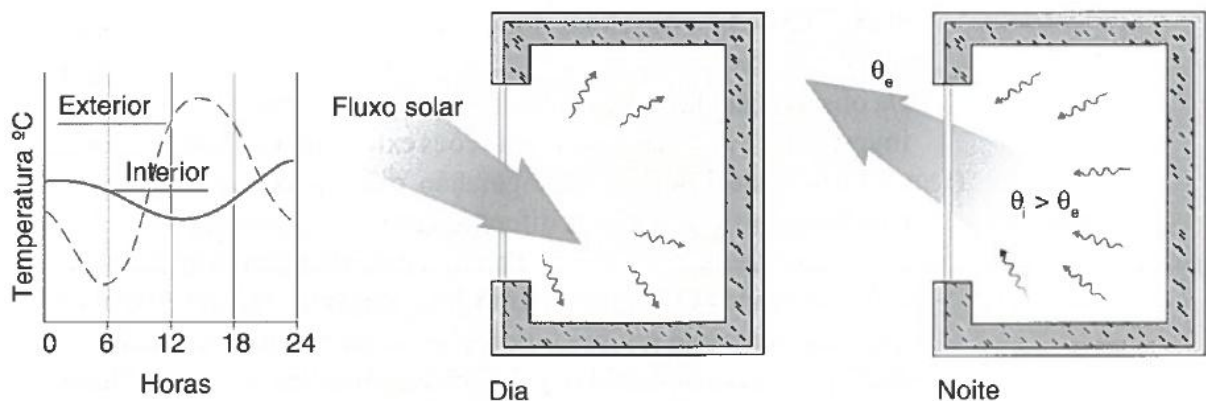


Figura 2.7 – Importância do isolamento térmico pelo exterior [10]

Para a estação de arrefecimento, e considerando a existência de isolamento térmico pelo exterior, o fluxo de calor assume outro sentido. Como os elementos de menor massa se localizam entre o isolante térmico e o ambiente exterior, terão mais dificuldades em armazenar calor, bem como transportá-lo por condução para o interior do edifício, evitando dessa forma o sobreaquecimento [20].

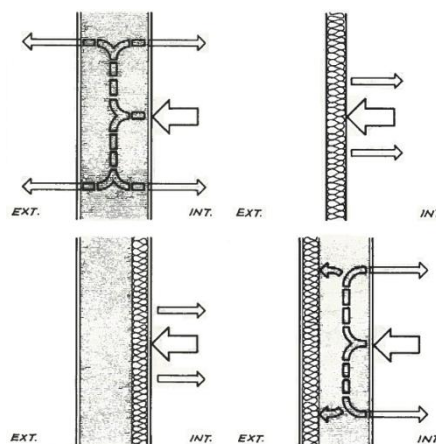


Figura 2.8 – Fluxo de calor face a diferentes inércias térmicas [23]

## 2.4.2. REFORÇO DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM ZONAS OPACAS

Como foi dito anteriormente, o isolamento térmico de uma envolvente opaca é uma ação que contribui bastante para o aumento da eficiência energética, pois permite uma considerável diminuição do consumo de energia, podendo resultar em simultâneo num aumento do conforto térmico. O reforço desse isolamento térmico é conseguido aumentando a resistência térmica dos elementos construtivos que compõe a zona opaca das paredes principais e da cobertura.

A resistência térmica não deverá ser excessivamente elevada pois poderá resultar em situações de sobreaquecimento no interior.

### 2.4.2.1. Paredes exteriores

Tal como já foi referido, a aplicação do isolante térmico nas paredes principais pode ser feita pelo interior e exterior. No entanto, observando os Quadros 2.14 e 2.15 constata-se que a aplicação do isolante térmico pelo exterior pode representar uma melhor solução pois as vantagens superam os inconvenientes, em comparação com a aplicação pelo interior. O mesmo quadro resume as vantagens e desvantagens dessas opções numa perspetiva térmica, embora o reforço do isolamento pelo exterior não esteja associado a desvantagens.

Quadro 2.14 – Vantagens e desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior [24]

Vantagens	Eventual menor dispêndio de energia no aquecimento interior em regimes do tipo descontínuo (típicos no segmento residencial em Portugal)
Desvantagens	Potenciador de situações de ponte térmica em diversas configurações construtivas, obrigando a adotar disposições específicas de correção.
	A inércia térmica é reduzida em consequência da inutilização da parede exterior como massa de armazenamento térmico.

Quadro 2.15 – Vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior [24]

Vantagens	A probabilidade de ocorrência de pontes térmicas fica praticamente limitada à ligação fachada/vãos envidraçados e à existência de varandas pois o isolante térmico não apresenta descontinuidades.
	Incremento da inércia térmica (interior) com eventuais benefícios em termos de conforto interior e eficiência energética, sobretudo para regimes de aquecimento contínuo e com ganhos solares significativos.

#### 2.4.2.2. Cobertura

Nas coberturas dos edifícios a posição do isolante térmico depende do tipo destas, sendo por isso fundamental identificar os diferentes tipos existentes: coberturas em terraço, com desvão habitável ou com desvão não habitável. O reforço do isolamento térmico em coberturas de terraço não será abordado neste capítulo pois o género de edifício em estudo, edifícios antigos de habitação do tipo unifamiliar, geralmente não possui coberturas desse tipo.

No caso de coberturas com desvão habitável, o isolamento térmico deve ser aplicado nas vertentes em posição superior ou em posição inferior.

Para coberturas com desvão não habitável, deve ser assegurada uma forte ventilação e o isolamento deve ser aplicado sobre a laje de esteira. Dessa forma, o dispêndio de energia para aquecimento é menor, existindo também um melhor desempenho na estação de arrefecimento devido à forte ventilação no desvão [25].

#### 2.4.3. CORREÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

##### 2.4.3.1. Princípios

Os vãos envidraçados presentes nos edifícios antigos são normalmente vulgares vidros simples e incolores.

Sabendo que estes vãos representam uma grande influência sobre o ambiente interior, podendo representar até cerca de 40% das perdas térmicas totais dos edifícios durante o inverno [23], para além de durante a reabilitação se substituir os atuais por outros mais eficazes, importa compreender como os dispor na envolvente, optando ou não por eliminar alguns deles.

A dimensão ótima a adotar para um vão envidraçado, bem como o seu número ao longo da envolvente opaca, deve depender em grande parte da região e clima onde se localiza o edifício.

Atendendo ao clima do nosso país, na estação de inverno, grandes vãos envidraçados podem conduzir a elevadas perdas de calor do interior para o exterior, mas também permitem maiores ganhos solares (Figura 2.9). Contudo, durante a estação de verão podem surgir períodos de desconforto devido ao sobreaquecimento por excesso de radiação solar captada. Assim, no caso de Portugal, deve-se adotar uma estratégia de controlo solar com vista à minimização da radiação solar [13].

A reabilitação de um vão envidraçado não deve atender apenas ao controlo dos ganhos solares, como também procurar o reforço do isolamento térmico e da redução da permeabilidade da caixilharia.

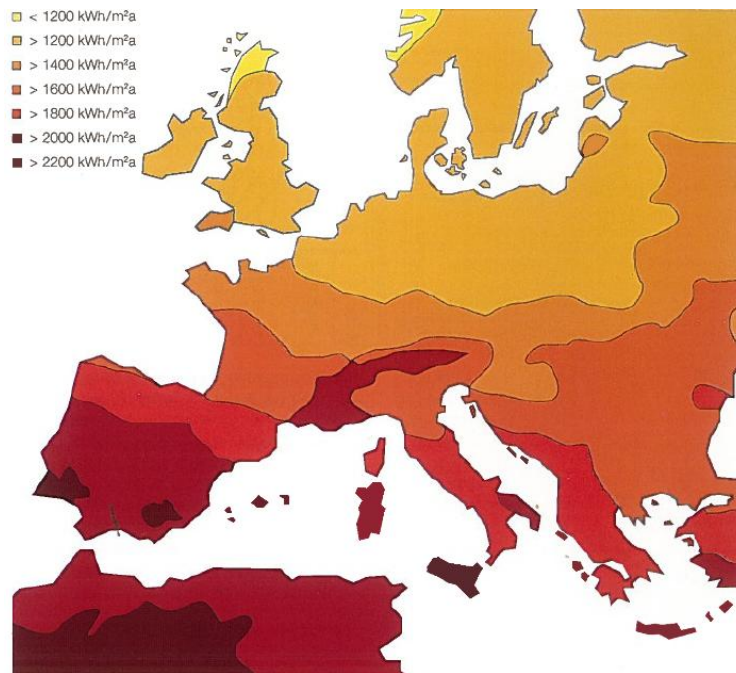


Figura 2.9 – Radiação solar global anual na Europa [26]

#### 2.4.3.2. Coeficiente de transmissão térmica

A resistência térmica do vão envidraçado não depende apenas do envidraçado como também da caixilharia. Se a área envidraçada pode ser composta por vidro simples, duplo ou triplo, também a caixilharia pode ser metálica, de madeira ou em plástico. A esta variedade de soluções acresce ainda a possibilidade de existirem duas janelas ou diferentes espessuras de lâminas de ar.

O vidro e a caixilharia possuem diferentes propriedades pelo que o valor do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado ( $U_{\text{Vão Envidraçado}}$ ) deverá ser um valor ponderado na área superficial daqueles:

$$U_{\text{Vão Envidraçado}} = \frac{U_{\text{Vidro}} \times A_{\text{Vidro}} + U_{\text{Caixilharia}} \times A_{\text{Caixilharia}} + \psi \times B_{\text{Caixilharia}}}{A_{\text{Vidro}} + A_{\text{Caixilharia}}} \quad (1.1)$$

Em que:

$U_{\text{Vão Envidraçado}}$  – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

$U_{\text{Vidro}}$  – Coeficiente de transmissão térmica do vidro ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

$A_{\text{Vidro}}$  – Área envidraçada ( $\text{m}^2$ )

$U_{\text{Caixilharia}}$  – Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

$A_{\text{Caixilharia}}$  – Área de caixilharia ( $\text{m}^2$ )

$\psi$  – Coeficiente de transmissão térmica linear ( $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ )

$B$  – Perímetro do desenvolvimento da caixilharia (m)



### 2.4.3.3. Fator solar

A radiação solar, alcança as superfícies exteriores de um edifício de forma direta, difusa e refletida, e penetra no interior através dos elementos transparentes, tal como ilustra a Figura 2.10.

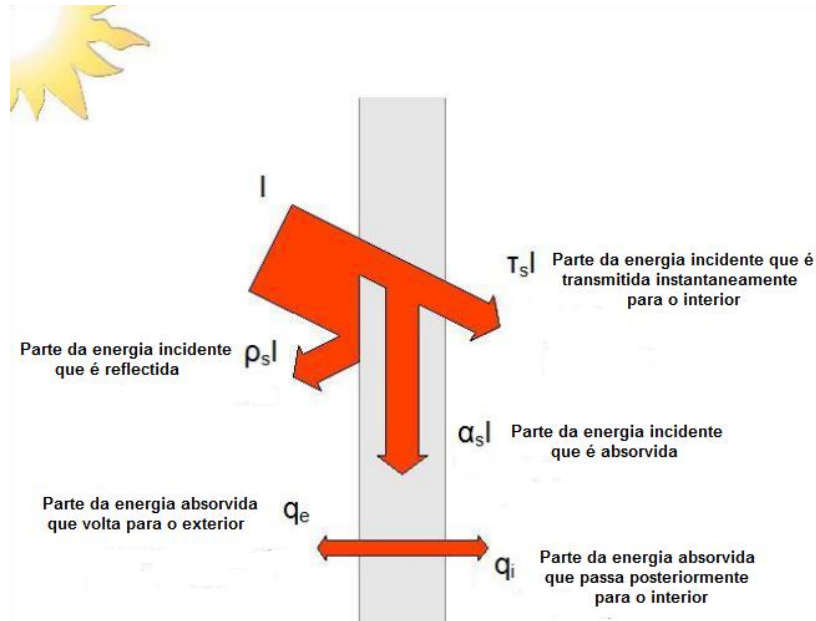


Figura 2.10 – Decomposição da radiação solar ao incidir num elemento envidraçado [29]

No inverno, a radiação solar incide maioritariamente na fachada virada a sul, pelo que os maiores envidraçados deverão existir naquela fachada. Além disso, durante o período de verão, o sol está mais elevado no céu, resultando numa menor quantidade de radiação sobre os envidraçados daquela fachada.

Durante o verão, as fachadas viradas para Oeste e Este estão sujeitas a radiação muito intensa, pelo que é necessário ter algum cuidado com os envidraçados ali dispostos. Por outro lado, os envidraçados orientados a Norte recebem quantidades insignificantes de radiação em qualquer uma das estações, pelo que a vantagem em dispor de vãos envidraçados se resume a efeitos de iluminação e ventilação.

Para efeitos de reabilitação térmica, o dimensionamento de um envidraçado pode ser feito considerando o fator solar do envidraçado ( $g_{\perp}$ ). O fator solar do envidraçado é o “*quociente entre a energia solar transmitida através do vidro para o interior e a energia da radiação solar incidente*” [14]. A energia solar que chega ao interior da habitação engloba a que passa pelo vidro e a que é absorvida e só mais tarde é transferida para o interior.

Adotando a simbologia utilizada na Figura 2.10, o fator solar do vidro é dado por:

$$g_{\perp} = \frac{\text{Ganho solar através do vidro}}{\text{Radiação incidente}} = \frac{T_s I + q_i}{I} \quad (1.2)$$

O controlo do fator solar é algo complexo pois se na estação de arrefecimento a elevada filtragem de radiação solar resulta num bom desempenho térmico, no inverno, os ganhos de calor também são mais reduzidos, conduzindo a maiores necessidades de aquecimento. Não havendo oportunidade para aquecer o edifício, então o desconforto será maior.

O fator solar pode dizer respeito apenas ao vidro, designando-se por fator solar do vidro ou, se tiver em conta a zona opaca do envidraçado como por exemplo a caixilharia, apenas de fator solar.

Muitas vezes o controlo do fator solar de um envidraçado não é suficiente pelo que é necessário considerar outras medidas tais como os dispositivos de proteção interior ou exterior que podem ser persianas, estores, telas e portadas. Apesar de aqueles dispositivos serem preferíveis de colocar do lado exterior, no caso dos edifícios antigos, podem-se manter as portadas interiores em madeira.

De forma a permitir a redução dos ganhos solares térmicos antes da radiação solar atingir os envidraçados, pode-se recorrer à implementação de elementos de sombreamento horizontal e vertical na fachada, bem como à plantação de árvores largas e de folha caduca, pois deixam cair a sua folhagem no outono e permitem o acesso solar durante o inverno. Os elementos fixos de sombreamento podem estar disfarçados na própria geometria do edifício, como é o caso de muitas varandas.

# 3

## CÁLCULO EM REGIME DINÂMICO

### 3.1. INTRODUÇÃO

O programa informático Pleaides 3.0.5.5 é uma ferramenta de simulação térmica desenvolvida pelo Centre d'Energétique de l'École des Mines de Paris e tem como finalidade calcular o comportamento térmico de diferentes zonas de um edifício, com vista à avaliação de projetos, em regime dinâmico. O modelo matemático utilizado determina a evolução da temperatura do interior do edifício através de um balanço energético entre os ganhos internos, ganhos solares e as perdas de calor pela envolvente.

Este programa, solicita ao utilizador que introduza um conjunto de características sobre o edifício e envolvente, apoiando-se numa biblioteca de dados de construção, e pedindo ainda que defina as condições em que o deseja simular.

Este programa é de grande utilidade pois os resultados obtidos no decorrer das simulações possibilitam perceber a influência das opções consideradas na fase de projeto de um dado edifício, potenciando o dimensionamento de edifícios com um baixo consumo energético e elevado conforto. No decurso das simulações é possível compreender, por exemplo, de que forma a influência da inércia térmica, da ventilação e do tipo de superfície a adotar em paredes com incidência solar, podem interferir com o bem-estar interior e o respetivo consumo de energia.

Associada também às simulações está a enorme facilidade com que se procede a alterações nas condições iniciais, como por exemplo nos elementos construtivos, conseguindo-se várias simulações num curto espaço de tempo.

No entanto, para que se possa proceder a quaisquer simulações é necessário introduzir também de início informações sobre a geometria e orientação do edifício, a sua envolvente exterior, o tipo de utilização a que vai estar sujeito por quem o ocupa e as características de todos os elementos construtivos que dele fazem parte.

O programa Pleaides permite então indicar ao utilizador:

- As temperaturas horárias verificadas para cada zona térmica, sabendo que é possível definir até 40 zonas térmicas em simultâneo. Procedendo ao tratamento de dados, facilmente se obtém as temperaturas mínimas, medianas e máximas para cada compartimento.
- As necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento para cada zona térmica.
- A potência horária necessária a despendar para aquecimento e arrefecimento e ainda os ganhos solares horários, por zona térmica.

- O valor total das necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento, dos ganhos solares, da energia desperdiçada, dos ganhos internos e dos ganhos úteis de energia.

Este programa tem por base o método de cálculo COMFIE (Calcul d'Ouvrages Multizones Fixé à une Interface Experte) sendo o software Pleaides a interface entre o repositório de dados, o controlo e a modelação do edifício, e o cálculo e apresentação dos resultados.

A legislação francesa aprova o método de cálculo COMFIE pelo que o programa Pleaides permite um cálculo autorizado pela RT [31] [32]. A aplicação do Pleaides destina-se fundamentalmente a engenheiros civis e mecânicos, arquitetos, universidades e centros de investigação.

### 3.2. MÓDULO DE CÁLCULO COMFIE

Desenvolvido por Bruno Peuportier e Isabelle Blanc-Sommereux na década de 80, através da École des Mines de Paris, o módulo de cálculo COMFIE baseia-se na decomposição do edifício em várias zonas térmicas, de ambiente homogéneo e temperatura uniforme, estando delimitadas pelas várias paredes [33].

O módulo COMFIE realiza uma análise multizona, simulando vários ambientes em simultâneo, considerando as trocas de calor entre cada zona tal como ilustrado na Figura 3.1. Este processo conduz a um modelo global do edifício, permitindo a execução de um cálculo horário com vista ao estudo da evolução da temperatura e do consumo energético [31].

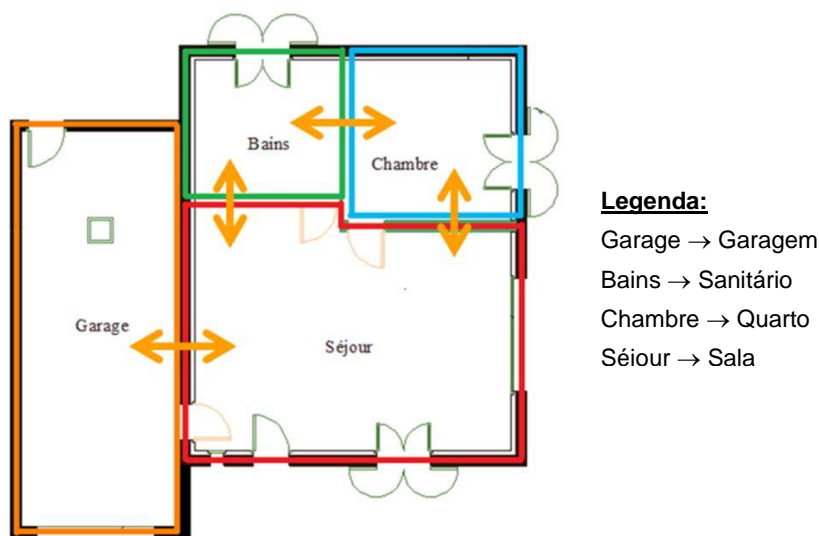


Figura 3.1 – Trocas de calor entre as diferentes zonas térmicas [32]

Definidas e caracterizadas as zonas térmicas e conhecidas as características do clima exterior, o módulo COMFIE executa uma série de equações, de acordo com a metodologia exposta na Figura 3.2.

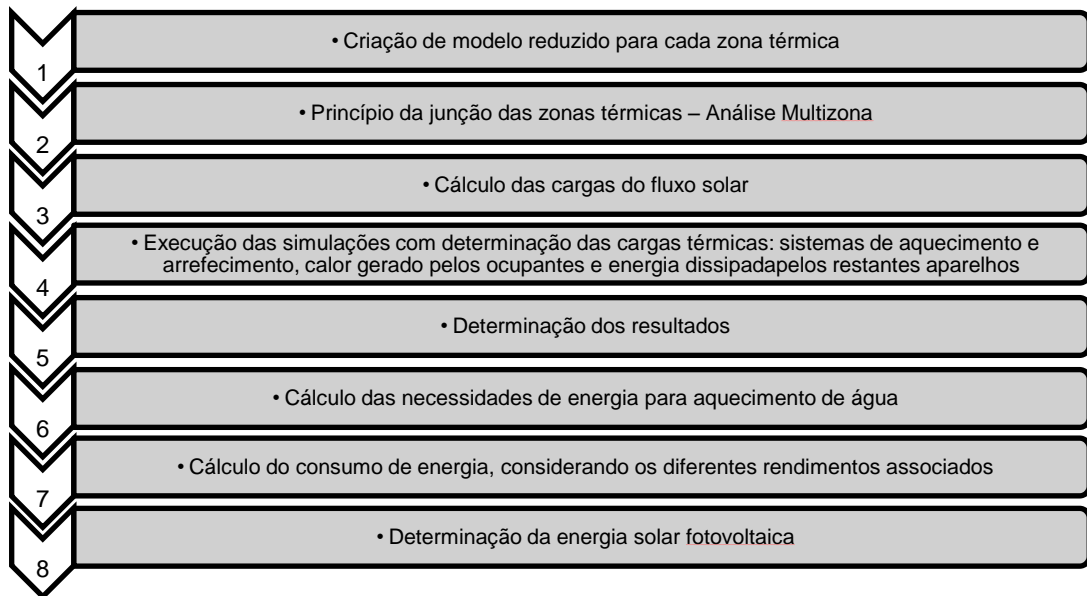


Figura 3.2 – Descrição da metodologia de cálculo COMFIE

### 3.3. FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA

O programa Pleaides exige a introdução de uma grande quantidade de informação sobre o edifício e a sua envolvente, característica que, quando reunida com os múltiplos menus existentes, poderá transparecer alguma complexidade durante a sua utilização. No entanto, a disposição e a clareza dos diferentes menus conferem ao programa uma utilização fácil e proveitosa.

O Pleaides é composto por três módulos diferentes, distribuídos por três menus principais, como é ilustrado na Figura 3.3. Nos próximos pontos, explicar-se-á cada opção dos respetivos menus do programa pela ordem correspondente àquela que seria necessário percorrê-lo para realizar uma qualquer simulação, iniciando-se na definição dos elementos do edifício e terminando na apresentação dos resultados, sempre com recurso a *screenshots*.

No Anexo I são apresentados os restantes *screenshots* dos menus e submenus aqui apresentados.

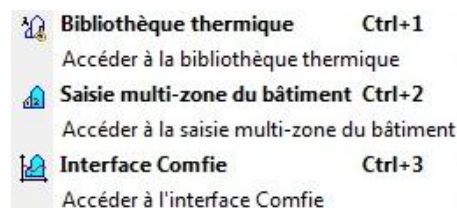


Figura 3.3 – Principais menus do Programa Pleaides

Quando o programa é acionado, é iniciado de forma automática no módulo “Bibliothèque Thermique” (Figura 3.4). Na Figura 3.5 são apresentadas as opções para cada menu da barra de menus.

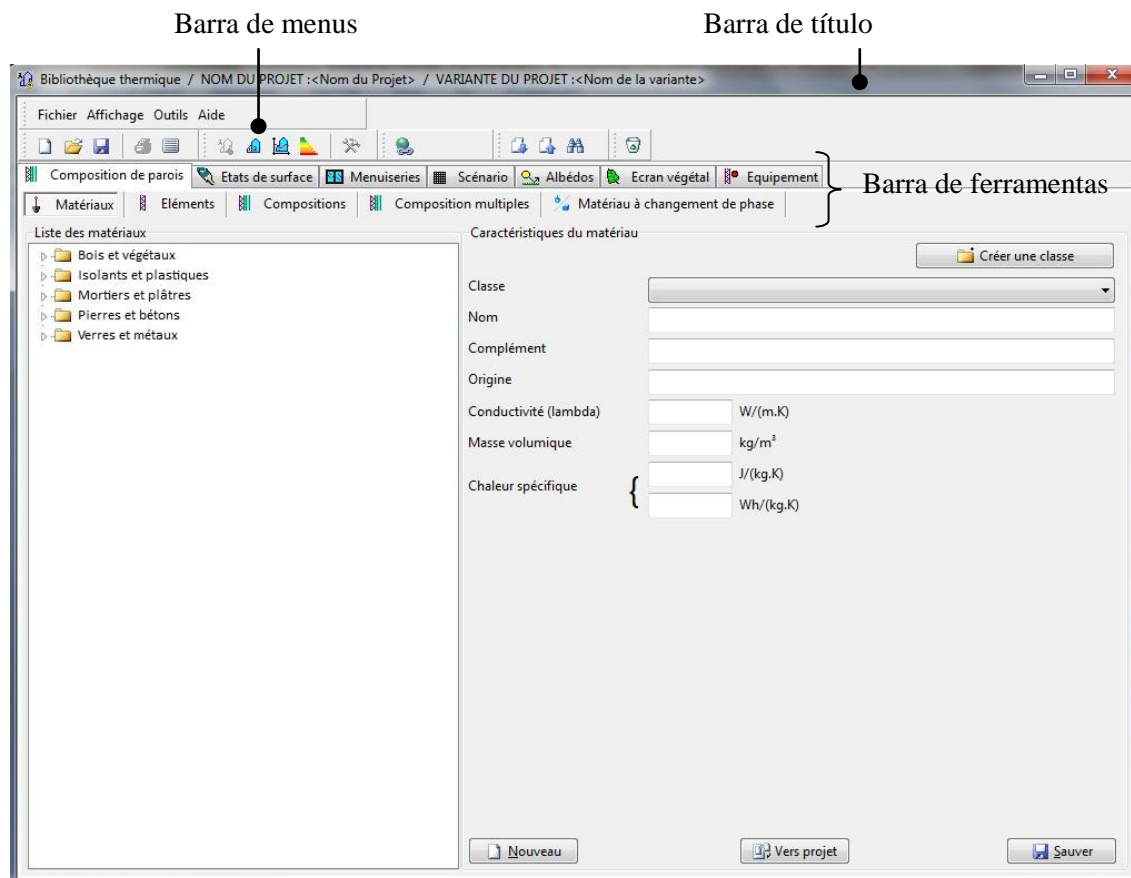


Figura 3.4 – Ecrã inicial do programa Pleaides

Um aspeto transversal a todos os menus e submenus deste módulo, quando existem, é a presença de três botões de comando na zona inferior daqueles. Da esquerda para a direita, surge primeiro o botão de comando “Nouveau”, com a função de limpar o conteúdo presente nas caixas de texto, permitindo assim a introdução de novos dados que poderão ser adicionados diretamente ao projeto.

O botão de comando “Vers Projet” tem a função de transferir os dados pretendidos para o projeto. Como foi dito anteriormente, “Bibliothèque Thermique” é um módulo independente dos restantes. Por isso, quando se pretende passar dados para outros módulos, não basta criá-los e gravá-los nesse repositório para que sejam utilizáveis nas simulações (para utilização do módulo de cálculo COMFIE).

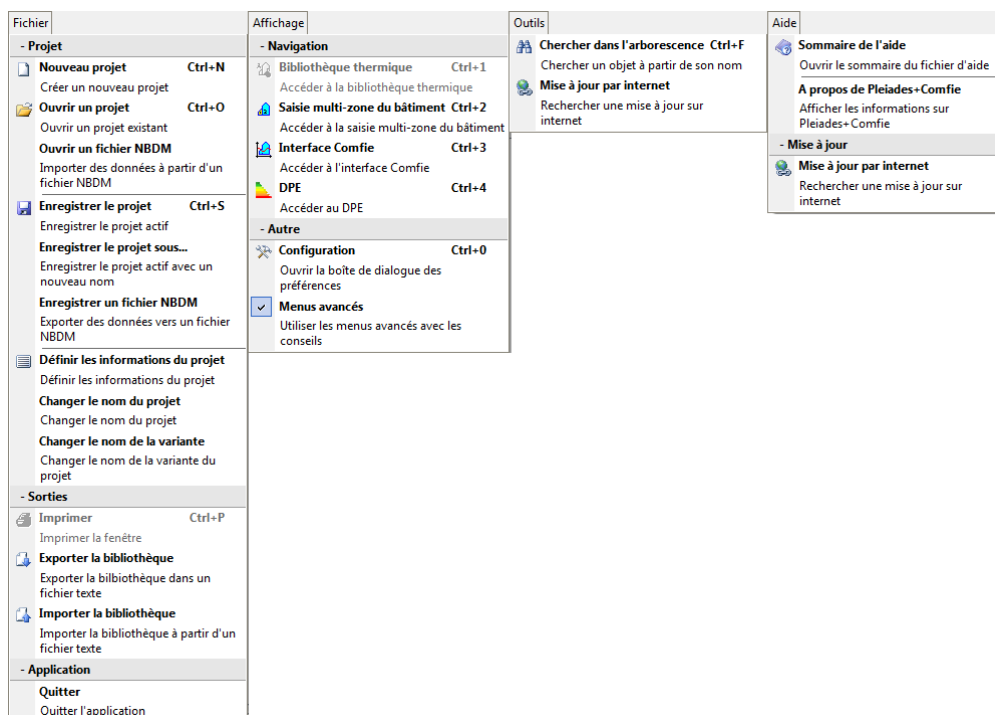


Figura 3.5 – Opções dos menus do programa Pleiades

### 3.3.1. BIBLIOTHECA TÉRMICA

O módulo “Biblioth que Thermique” é composto por submenus que permitem caracterizar o edifício quanto aos elementos que o compõem e a aspetos sobre a sua utilização (Figura 3.6). Embora o utilizador tenha a possibilidade de inserir quaisquer valores, em todos os submenus deste módulo   possível utilizar soluções predefinidas guardadas no repositório do programa com vista a aumentar a utilidade do programa bem como a conferir maior celeridade   caracterização do edifício.

Em todos os submenus, a zona esquerda do ecrã corresponde ao repositório, local onde se encontram os dados predefinidos ou anteriormente gravados (Figura 3.7). No lado direito existem várias caixas de diálogo que servem em simultâneo para a introdução de dados ou para a descrição da solução selecionada (Figura 3.7).

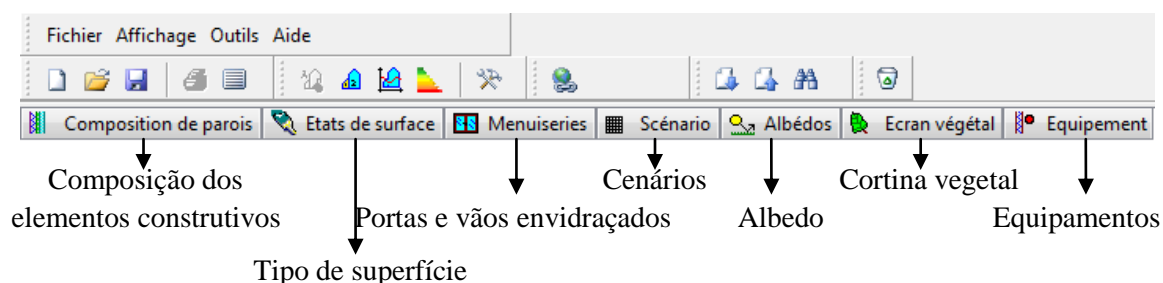


Figura 3.6 – Menus do módulo “Biblioth que Thermique” do programa Pleiades

### 3.3.1.1. Composição dos elementos construtivos

Quando se acede ao módulo “Biblioteca Térmica” é iniciado por defeito o menu “Composition de Parois”. Neste menu existem vários submenus com vista à definição de elementos construtivos, tais como paredes, pavimentos e cobertura.

A escolha do submenu a executar depende das características dos elementos. O submenu “Matériaux” (Figura 3.7) serve para introduzir materiais que não existam no repositório do programa e que sejam necessários para os elementos a definir.

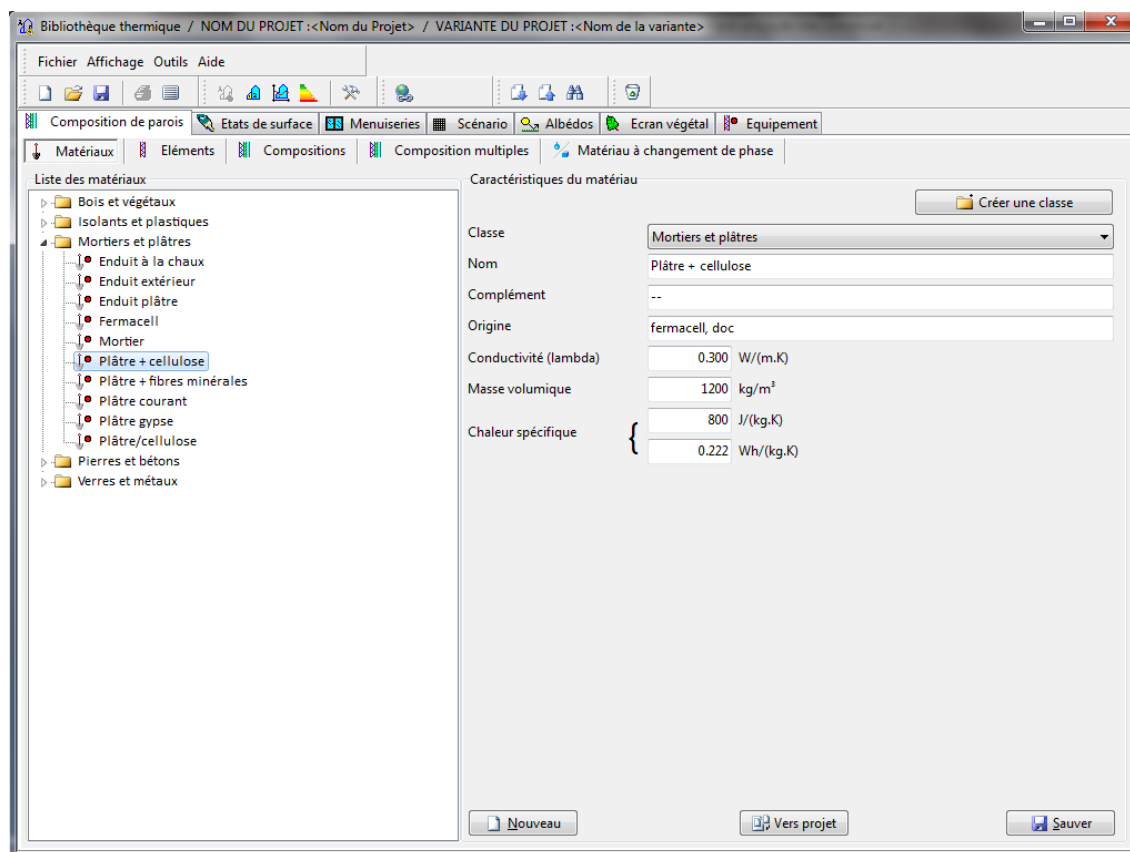


Figura 3.7 – Janela de aplicação “Matériaux” do menu “Composition de Parois”

Para elementos termicamente heterogéneos, existe o submenu “Eléments” e, tal como o relativo aos materiais, permite a introdução de novos elementos e a alteração das características dos existentes.

O submenu “Compositions” permite que o utilizador defina um qualquer elemento construtivo através da reunião de materiais e elementos já contidos no repositório, porque já existiam ou porque foram introduzidos e guardados nos submenus anteriores. Após a definição do elemento, o utilizador passa a conhecer automaticamente o valor da sua resistência térmica. Também no repositório do programa existem composições predefinidas.

Existe outro submenu relativo às composições, designado por “Composition Multiples”. Neste, não é possível definir um elemento construtivo reunindo materiais ou elementos, mas sim, juntar diferentes composições guardadas no repositório do programa, porque já existiam ou porque foram adicionadas a partir do submenu “Compositions”.



O último submenu designa-se por “Matériau à Changement de Phase” e permite a inclusão de materiais de mudança de fase no repositório do programa e no projeto que se pretenda levar a cabo.

Os materiais de mudança de fase *“têm a capacidade de alterar o seu estado físico num determinado intervalo de temperatura, absorvendo ou libertando energia do meio envolvente. Durante este processo de mudança de fase, a temperatura do material mantém-se praticamente constante. Quando a mudança de fase está completa, o aquecimento/arrefecimento contínuo resulta num aumento/diminuição da temperatura”* [34].

#### 3.3.1.2. Tipo de superfície

Neste menu é permitido ao utilizador definir a superfície dos diversos elementos que compõe o edifício. O utilizador pode introduzir os dados que entender ou escolher um revestimento presente no repositório do programa. Um revestimento ou uma pintura afeta muito a absorção da radiação solar, por isso, o programa Pleaides contém vários tipos de metais e pedras, diversas cores para a pintura e ainda o betão e o vidro.

Os coeficientes a inserir são os de emissividade e absorção, cujo valor deverá estar compreendido entre 0 e 1.

#### 3.3.1.3. Portas e vãos envidraçados

O menu “Menuiseries” permite a definição das principais características das portas e envidraçados que compõem o edifício através da quantificação de determinados parâmetros. Se a caracterização das portas é feita apenas a partir da quantificação do coeficiente de transmissão térmica, no caso dos envidraçados esta é mais completa. Para além da introdução do coeficiente de transmissão térmica, é também permitida a quantificação do seu fator solar e do número de vidros que o compõe.

Para além dessa informação, o Pleaides permite a distinção do coeficiente de transmissão térmica do vidro e da caixilharia, bem como a área de vidro e da caixilharia face à área total do vão envidraçado. Outro aspeto vantajoso deste programa consiste na possibilidade em considerar portas-janelas e incluir uma grande variedade de soluções predefinidas.

#### 3.3.1.4. Cenários

Associado à utilização do edifício, o menu “Scénario” está dividido em dois submenus, um para a definição de cenários semanais (Figura 3.8) e outro para o cenário anual (Figura 3.9). Estes dois submenus estão diretamente associados na medida em que o cenário anual é definido em função dos cenários semanais entretanto criados e gravados no repositório.

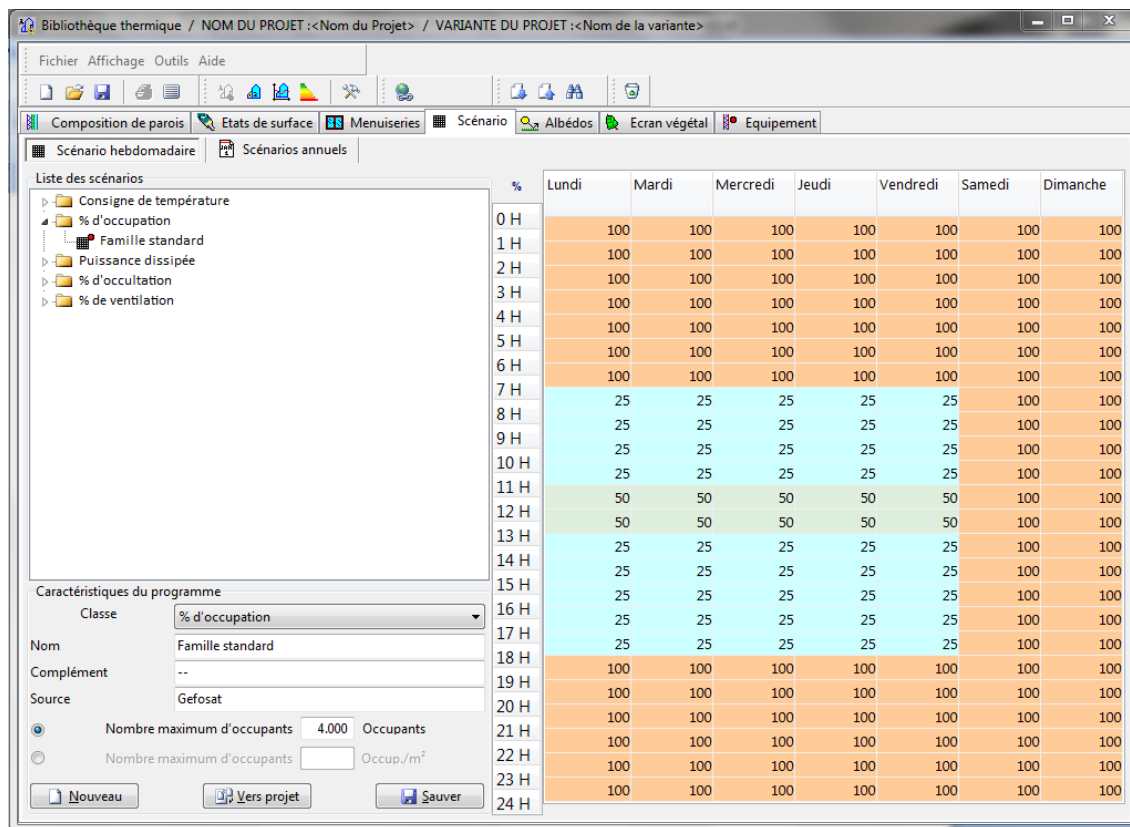


Figura 3.8 – Janela de aplicação “Scénario Hebdomadaire” do menu “Scénario”

A fixação dos cenários semanais constitui uma forma equilibrada de representar as condições de utilização do edifício, embora esses utilizadores possam não agir exatamente da mesma forma ao longo de uma semana. No entanto, presume-se que os utilizadores no interior dos edifícios manipulem os seus acessórios e equipamentos em função do clima exterior e do tipo de ocupação, aspetos que se mantêm algo constantes, pelo menos ao longo de uma semana, pelo que se considera que a definição por semana não representa grandes inconvenientes.

Um cenário pode ser caracterizado e regulado quanto às temperaturas interiores de referência para aquecimento e arrefecimento, ocupação humana no interior do edifício, potência dissipada, ocultação pelos envidraçados e intensidade da ventilação.

Como já foi referido para outros submenus, do lado esquerdo existe uma lista com soluções predefinidas para cada parâmetro (Figura 3.8). No entanto, caso se pretenda definir um novo cenário, recorre-se às ferramentas da zona inferior esquerda (Figura 3.8). Aí, começa-se por designar o nome a atribuir ao cenário, fixando-se também o valor máximo a atingir pelo parâmetro.

Por exemplo, no caso de se pretender definir a ocupação humana de um cenário, começa-se por indicar o número máximo de indivíduos a permanecer no interior do edifício e depois, no quadro do lado direito do ecrã, para cada hora da semana, insere-se em percentagem o número de ocupantes a permanecer no seu interior. Gravando no repositório, esse cenário semanal poderá ser depois utilizado para a definição do cenário anual.

No caso da temperatura de referência, esta pretende ser a temperatura para a qual os equipamentos de aquecimento ou arrefecimento irão funcionar de modo a que seja essa a instalada no ambiente interior.

Por exemplo, se para a situação de arrefecimento se definir 25° C, significa que o equipamento associado só entrará em funcionamento quando a temperatura tenda a ultrapassar o valor definido.

Para os outros cenários, resta apenas indicar que a ocultação diz respeito aos envidraçados, e sobre a potência dissipada, salienta-se apenas que corresponde a lâmpadas, fogões e outros aparelhos domésticos.

Para o submenu relativo ao cenário anual, do lado direito do ecrã, está disposto um quadro com a decomposição de um ano em semanas. Assim, a partir dos diversos cenários semanais guardados no repositório, poder-se-á atribuir a cada semana um dado cenário à escolha, como é ilustrado na Figura 3.9.

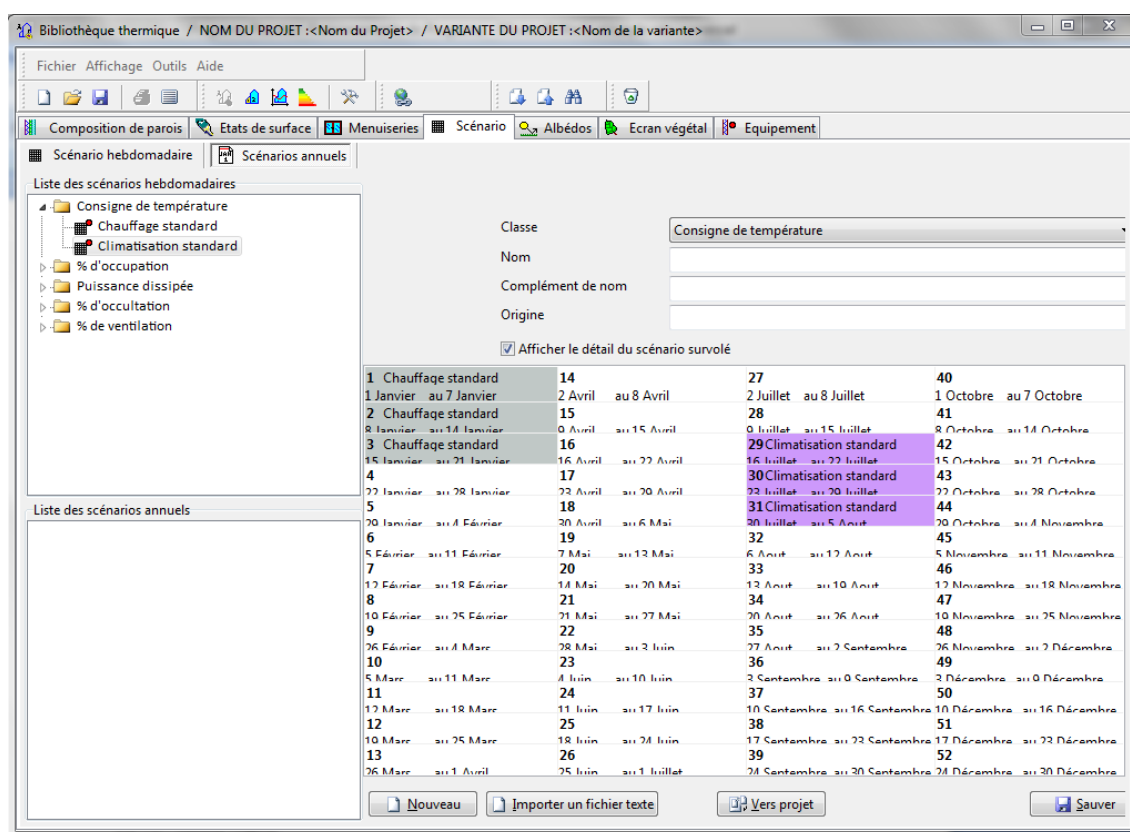


Figura 3.9 – Janela de aplicação “Scénarios Annuels” do menu “Scénario”

### 3.3.1.5. Superfície da envolvente exterior

O menu “Albédos” (em português corresponde a albedo, significando a radiação refletida pelo contorno) diz respeito à definição da superfície envolvente exterior ao edifício para que se possa caracterizar a radiação solar refletida pelo solo sobre o edifício. A disposição deste menu é semelhante ao de outros, com a lista de tipos de superfície da envolvente a aparecer à esquerda do ecrã e os valores da reflexão para cada mês a aparecer à direita. O repositório do programa tem soluções predefinidas para superfícies de água, vegetação, solo e outros materiais.

Importa referir que se a natureza do piso variar durante o ano, o coeficiente de reflexão pode variar em grandes proporções. Por esse motivo este menu permite um valor diferente do coeficiente de reflexão do solo para cada mês, compreendido entre 0 e 1, para nenhuma ou total reflexão, respetivamente.

### 3.3.1.6. Cortina vegetal

A função deste menu é de possibilitar a definição das características das plantas trepadeiras, quando existam, sobre o edifício em estudo. No lado esquerdo do ecrã, é possível observar as duas soluções predefinidas, sendo elas a Hera e a Vinha. Do lado direito, são apresentadas as características de cada uma, podendo ser introduzidas outras plantas trepadeiras. Pelo mesmo motivo referido no menu “Albédos”, existe um valor do coeficiente de transparência para cada mês, compreendido entre 0 e 1, para opaco e transparente, respetivamente.

A caixa de seleção serve para indicar que o efeito da cortina vegetal será também estendido aos elementos opacos e não apenas aos vãos envidraçados.

### 3.3.1.7. Equipamentos

O menu “Equipement” permite apenas a consideração de caldeiras para a execução das simulações o que pode resultar num entrave caso o utilizador pretenda utilizar outro equipamento. No entanto, o repositório do programa contém 1.844 modelos de caldeiras, dispostos por ordem alfabética e por marca de fabricante.

## 3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O módulo “Saisie Multi-zone du Bâtiment” permite a definição do edifício relativamente à sua geometria, composição e orientação, antes do mesmo ser sujeito à simulação pretendida. Para isso, conta com cinco menus, apresentados na Figura 3.10. Com este módulo, a informação criada e selecionada no módulo anterior é aqui atribuída ao edifício.

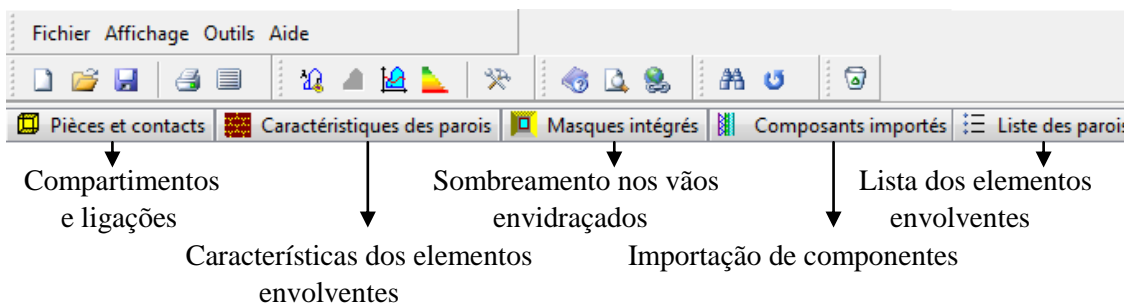


Figura 3.10 – Menus do módulo “Saisie Multi-zone du Bâtiment” do programa Pleaides

### 3.3.2.1. Compartimentos e Ligações

O primeiro menu deste módulo, designado por “Pièces et Contacts” permite a construção do edifício segundo a inserção dos compartimentos que o compõem e dos elementos envolventes dos compartimentos, tais como paredes, pavimentos e coberturas.

Relativamente ao modo de apresentação deste menu, como é ilustrado na Figura 3.11, existem 3 caixas de informação: “Bâtiment”, “Liste des Pièces” e “Liste des Parois”.

A caixa de informação designada por “Bâtiment” é comum aos quatro primeiros menus deste módulo e pretende apenas proporcionar ao utilizador do programa uma leitura rápida do edifício, no que diz respeito ao número de compartimentos e elementos construtivos que os delimitam. A informação aí

contida é apresentada de forma automática através dos dados inseridos pelo utilizador nas outras caixas do mesmo menu.

Relativamente à caixa “Liste des Pièces”, é preenchida pelo utilizador a partir do botão de comando inferior esquerdo “Créer une Pièce”. Quando este é acionado, cria um novo compartimento, aparecendo uma nova janela para que o utilizador possa atribuir uma designação, inserir o seu volume e a inércia térmica conferida pelo mobiliário presente nesse compartimento.

Por fim, “Liste des Parois” é preenchida acionando também o botão de comando inferior mas do lado direito, designado por “Créer une Paroi”. Selecionando um determinado compartimento antes de proceder ao clique sobre esse botão, o elemento construtivo criado estará diretamente associado a esse compartimento. Depois, importa ainda especificar o meio que esse elemento separa do ambiente interior a ser estudado, podendo ser o ar exterior, o solo, um desvão sanitário e outros.

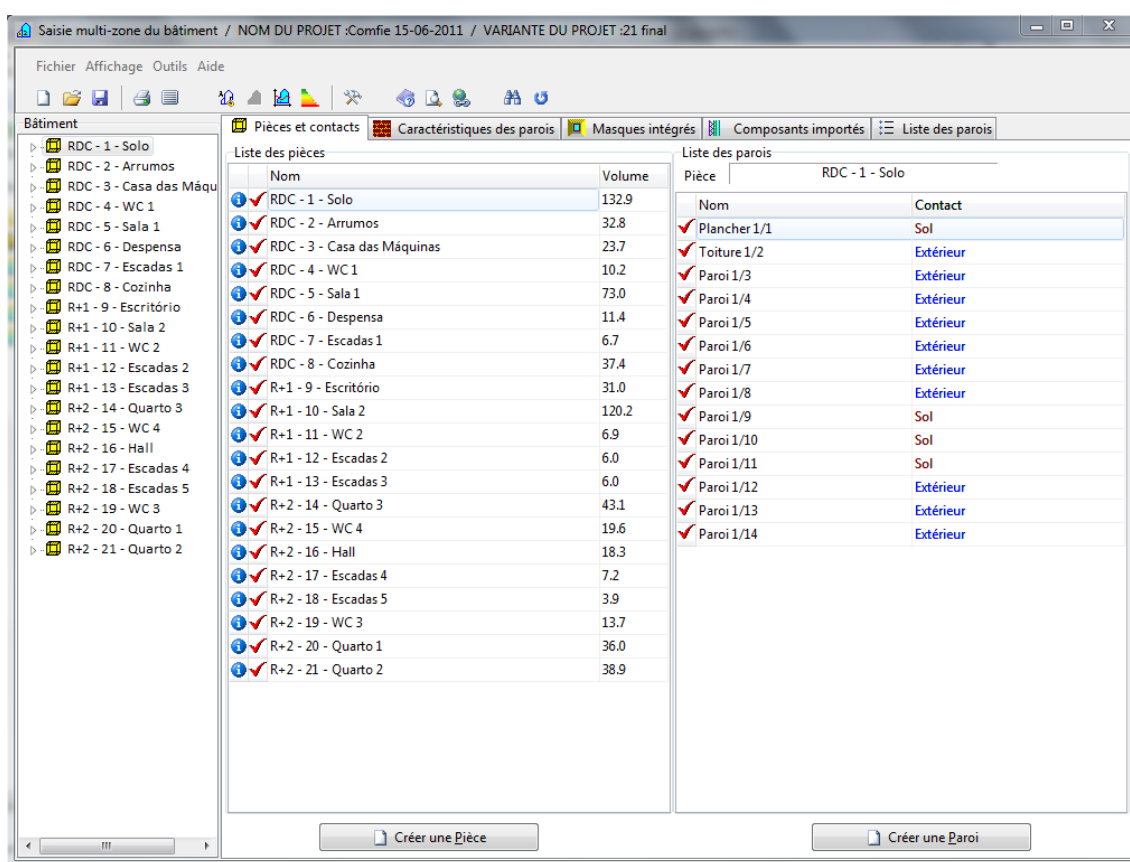


Figura 3.11 – Janela de aplicação do menu “Pièces et Contacts”

### 3.3.2.2. Características dos elementos envolventes

Designados no capítulo anterior por elementos construtivos que delimitam os compartimentos, estes elementos têm um menu dedicado à sua caracterização – “Caractéristiques des Parois”. Nesse, cada um será caracterizado relativamente à sua geometria, orientação, constituição (incluindo a presença de vãos envidraçados no seu plano) e à sua interação com o ambiente oposto àquele que é estudado.

### 3.3.2.3. Sombreamento nos vãos envidraçados

Este menu tem como finalidade permitir ao utilizador a definição dos vãos envidraçados distribuídos pelas fachadas, bem como do desenho exterior da fachada na proximidade desses vãos. Para além disso, permite ainda o estudo dos ganhos solares através dos envidraçados, realizando um cálculo autónomo, embora com resultados muito próximos daqueles gerados pelo módulo de cálculo COMFIE.

O menu “Masques Intégrés” apresenta dois submenus: um associado às reentrâncias e bordos adjacentes aos vãos envidraçados e outro, aos elementos incorporados na fachada que permitem a proteção direta face à radiação solar (varandas e palas). Independentemente do submenu considerado, existe uma caixa de informação à esquerda que apresenta todos os vãos envidraçados existentes no edifício.

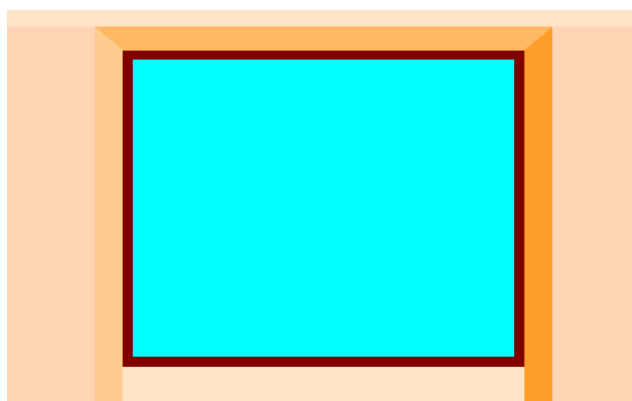


Figura 3.12 – Exemplo de bordos e reentrâncias num vão envidraçado, conseguida no submenu “Débords” do menu “Masques Intégrés”

O submenu “Débords”, associado aos bordos e reentrâncias (Figura 3.12) permite que o utilizador possa definir o vão envidraçado como estando mais recuado face ao plano vertical definido pela fachada e também mais afastado dos planos laterais verticais e horizontal fruto do recuo do vão envidraçado, correspondendo a reentrâncias e bordos, respetivamente. O mesmo submenu permite também definir a transparência do vidro e ainda visualizar o sombreamento no vão envidraçado ao longo de um ano, dependendo esta simulação da estação climática definida no botão de comando “Infos”.

O botão de comando “Infos” permite o acesso a uma janela (Figura 3.13) que oferece informações relativas aos ganhos solares globais ao longo do ano para a solução definida pelo utilizador e da mesma solução caso o envidraçado estivesse situado no mesmo plano vertical definido pela fachada, ou seja, sem bordos ou reentrâncias.

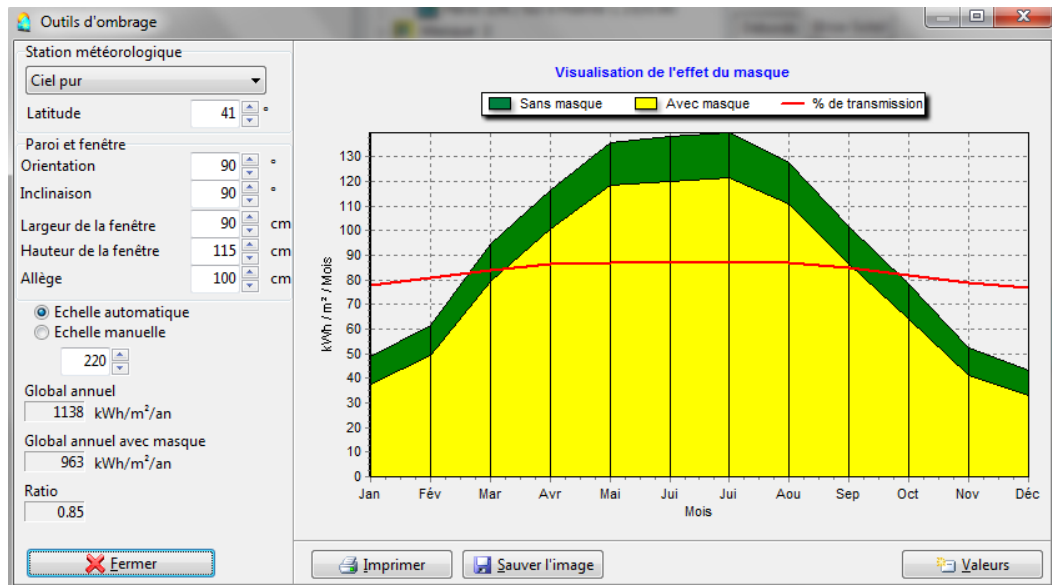


Figura 3.13 – Janela de informação do submenu “Débords” do menu “Masques Intégrés”

O outro submenu, designa-se por “Brise-Soleil” e permite que o utilizador defina os elementos verticais ou horizontais aplicados na fachada que impeçam a incidência direta de radiação solar, como também outros elementos acessórios aos vãos envidraçados que se situem pelo exterior, por exemplo, os estores de lâminas.

#### 3.3.2.4. Dados importados

Como foi referido em parágrafos anteriores, o programa em estudo está decomposto em três módulos, pelo que é necessário transferir a informação de um módulo para outro. O primeiro módulo a correr no programa serve de repositório e por isso, no módulo “Saisie Multi-zone du Bâtiment”, que permite a caracterização do edifício para posteriores cálculos, é necessário destinar um menu que registe toda a informação selecionada ou criada a partir do repositório “Bibliothèque Thermique”.

Em “Composants Importés” (Figura 3.14) o utilizador pode alterar de uma só vez as características de todos os elementos construtivos, tendo bastante interesse em estudos de sensibilidade, por exemplo.

Supondo que o utilizador pretende estudar a influência de paredes exteriores com 5 e 7 cm de isolante térmico sobre o comportamento térmico do edifício, se essas paredes tiverem sido definidas previamente em “Bibliothèque Thermique”, este menu permite que depois de realizada a simulação para a primeira, todas as paredes do edifício com 5 cm de isolamento sejam substituídas pelas de 7 cm de isolamento de uma só vez.

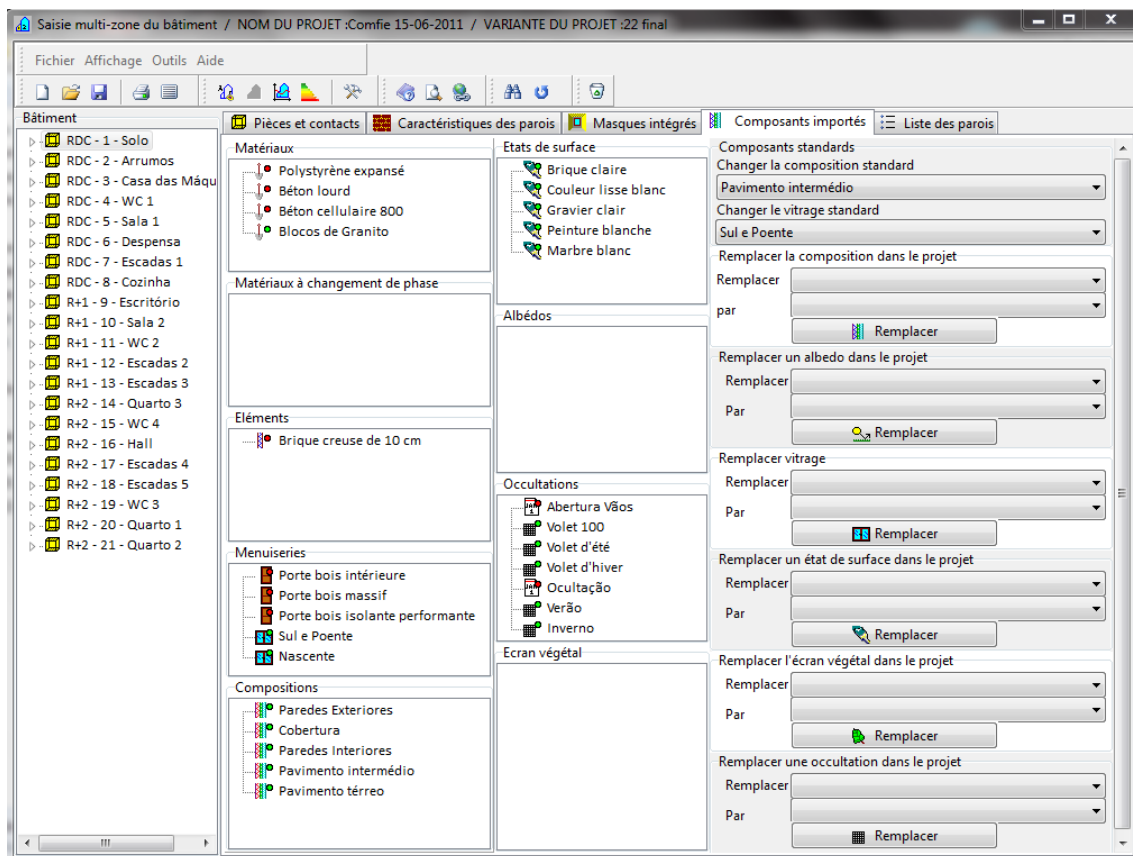


Figura 3.14 – Janela de aplicação do menu “Composants Importés”

### 3.3.2.5. Lista dos elementos envolventes

O menu em análise tem como função listar todos os elementos que delimitam os compartimentos que compõe o edifício e que são objeto de estudo. Este menu identifica cada elemento relativamente ao compartimento que limita, meio que separa, área da sua superfície, orientação e sua composição. Basicamente, reúne a informação mais importante do edifício.

### 3.3.3. INTERFACE COMFIE

O módulo “Interface COMFIE” é constituído pelos menus apresentados na Figura 3.15. Com o edifício caracterizado no módulo anterior, nesta interface, o programa pede ao utilizador as últimas informações necessárias sobre a envolvente e o funcionamento do edifício, para que o módulo de cálculo COMFIE proceda à resolução das simulações, apresentando os resultados necessários ao estudo do edifício.



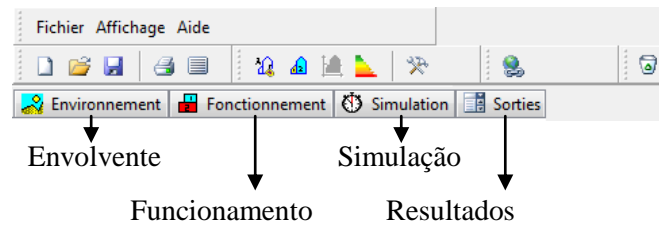


Figura 3.15 – Menus do módulo “Interface COMFIE”

### 3.3.3.1 Envolvente

O menu “Environnement” é apoiado por três submenus, “Site et Météo”, “Horizon” e “Masques Proches”, e como a própria designação indica, permite a caracterização de parâmetros e elementos exteriores ao edifício e que afetam o seu comportamento térmico.

No que diz respeito ao submenu “Site et Météo”, destina-se à identificação da estação que permite o estudo das condições meteorológicas sobre o edifício.

Para caracterizar a topografia local existe o submenu “Horizon”. Este submenu permite a criação de obstruções próximas, como por exemplo edifícios vizinhos, árvores ou muros que possam provocar sombreamento na fachada do edifício.

O submenu “Marques Proches” permite determinar o sombreamento sobre os elementos da fachada, com exceção dos vãos envidraçados, já estudados.

### 3.3.3.2. Funcionamento

O menu “Fonctionnement” (Figura 3.16) é aquele que antecede a realização da simulação do caso em estudo, estando dividido em três submenus: “Zones Thermiques”, “Ventilation Interne” e “Puits Canadiens”.

No primeiro submenu, ilustrado na Figura 3.16, o utilizador atribui a cada zona térmica já definida, os cenários de ocupação, potência dissipada, oclusão, ventilação e temperatura de referência, fixados no módulo “Bibliothèque Thermique”.

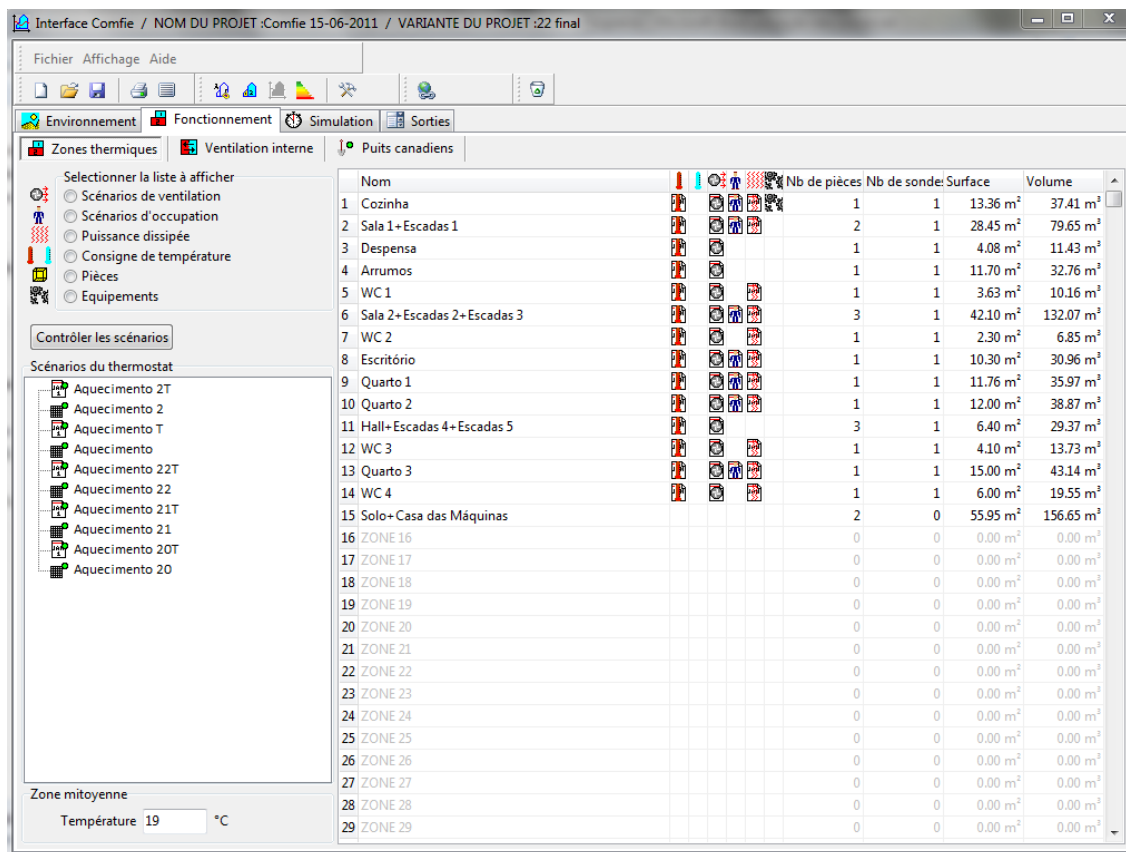


Figura 3.16 – Janela de aplicação “Zones Thermiques” do menu “Fonctionnement”

No canto superior esquerdo, existe uma caixa de seleção que permite ao utilizador escolher qual o cenário ou opção que gostaria de ver apresentada na caixa inferior esquerda em listagem, para posterior atribuição a cada zona térmica no lado direito do ecrã.

Fazendo clique sobre o nome de cada zona térmica, é aberta uma janela com informações da zona térmica selecionada relativas a compartimentos incluídos, dimensões, cenários adotados e o equipamento escolhido. Nessa janela, para os cenários e equipamento escolhidos, é possível anulá-los ou com apenas um clique, adotar essa escolha às restantes zonas térmicas.

Nessa janela, é possível observar os valores máximos da potência para aquecimento e arrefecimento. Quando não são inseridos pelo utilizador, o programa calcula-os automaticamente multiplicando o volume do compartimento selecionado por 100 W, apresentando-o em kW, quer para aquecimento como para arrefecimento. No que diz respeito à informação “Sondes”, o programa assume que as zonas sujeitas a uma determinada temperatura de aquecimento possuem uma sonda que permite a verificação da temperatura nesse espaço.

Ainda sobre essa janela, o botão de comando “Définir les Contrôles” permite o acesso a uma outra. Nessa, é possível definir, para os modos de aquecimento ou arrefecimento, as situações em que se procede à ventilação do espaço interior de forma a satisfazer os critérios também aí definidos, que visam o controlo da temperatura no interior do edifício.

Por exemplo, pode-se definir que durante o período de aquecimento, quando a temperatura no interior de um compartimento “X” for superior à temperatura no interior de um compartimento “Y” em 2° C, procede-se à renovação do ar interior do edifício, cessando-se a mesma quando a temperatura no interior de “X” for imediatamente inferior à de “Y”.

Ainda no menu “Fonctionnement”, surge o submenu “Ventilation Interne”. Este submenu permite definir de que forma se processa a renovação do ar interior. Quando iniciado, o submenu apresenta automaticamente todas as zonas térmicas, para que o utilizador possa então definir o modo como elas interagem entre si.

Nesse submenu, selecionando com o cursor do rato duas zonas térmicas, é acionada uma janela com várias opções sobre o modo de circulação de ar entre esses dois espaços: nenhuma ventilação (Pas de Ventilation), ventilação através de uma porta (Ventilation par Une Porte), ventilação através de duas aberturas (Ventilation par Deux Évents), ventilação mecânica (Ventilation Forcée) e ventilação natural de outros tipos (Autre Ventilation Naturelle).

A opção “Pas de Ventilation” anula a ligação entre as duas zonas térmicas consideradas, não havendo ventilação entre elas. “Ventilation par Une Porte” aciona uma janela que possibilita o estabelecimento das dimensões da porta bem como as condições para a sua abertura.

No caso de o utilizador optar pela colocação de duas aberturas entre as duas zonas térmicas, escolhendo a opção “Ventilation par Deux Évents”, é acionada uma janela para que se possa fixar a área das aberturas, bem como da distância entre elas.

Relativamente à opção “Ventilation Forcée”, esta corresponde à ventilação entre dois espaços, com recurso a um sistema mecânico. Cabe ao utilizador definir o fluxo de ar em cada sentido e, se por ventura a insuflação de ar num compartimento for superior ao extraído, o excedente é eliminado automaticamente.

A última opção, “Autre Ventilation Naturelle”, serve para definir um valor para uma troca de ar de qualquer tipo, desde que não envolva sistemas mecânicos.

A designação “Puits Canadiens” refere-se a um sistema de energia geotérmica que consiste na colocação de um tubo no interior do solo, com duas extremidades abertas, uma em contacto com o ar exterior e outra com o ambiente interior do edifício. Este sistema conduz à renovação do ar interior devido às diferenças entre a temperatura do solo e do exterior, resultando na redução e aumento da temperatura interior para as estações de arrefecimento e aquecimento, respetivamente.

Tendo em conta que no caso do edifício em estudo, o sistema não existe, este submenu não será mais pormenorizado.

#### 3.3.3.3. Simulação

No menu “Simulation” existem três separadores que permitem a realização de três tipos de simulações: “Lancer la Simulation”, “Variations Paramétriques” e “Lancement Automatique”.

O submenu “Lancer la Simulation”, apresentado na Figura 3.17, permite que, para um determinado período de tempo definido pelo utilizador, se proceda à simulação do edifício introduzido no programa. Neste espaço é também possível definir o intervalo de tempo do cálculo COMFIE e, se é verdade que quanto menor for esse período, mais demorada será a simulação, também é verdade que a precisão dos resultados será superior.

Este submenu possui quatro opções que fazem aumentar a utilidade do programa, das quais se destacam a possibilidade de considerar os ganhos solares e os ganhos internos. O utilizador poderá ficar a conhecer a contribuição de cada um desses ganhos, caso proceda a duas simulações, com e sem ganhos.

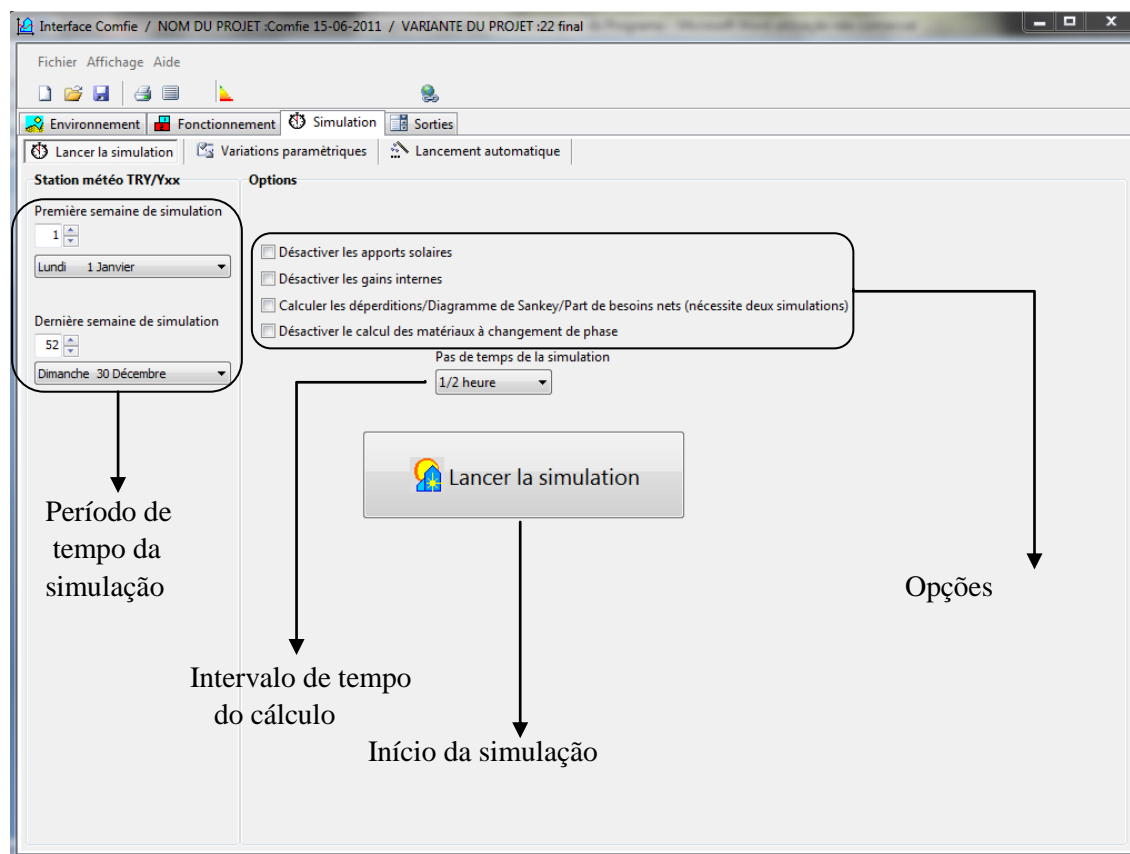


Figura 3.17 – Janela de aplicação “Lancer la Simulation” do menu “Simulation”

O submenu “Variations Paramétriques” deve ser escolhido quando, para um dado edifício, elemento ou cenário se pretenda executar um conjunto de simulações que visem apenas a alteração de um parâmetro, de forma a perceber a sua influência no conjunto.

Por exemplo, se o utilizador desejar compreender de que modo o edifício se comporta face ao aumento da espessura das paredes exteriores, deve impor o limite inferior e superior das espessuras a estudar (entre os 20 e os 40 cm, por exemplo) e os intervalos de variação (de 2 em 2 cm, por exemplo - o que acaba por resultar num total de 11 simulações).

Este submenu pode ser ainda mais proveitoso quando o utilizador pretenda o estudo em simultâneo de dois ou três parâmetros. Ao se definirem dois parâmetros, face ao que foi referido no parágrafo anterior, para cada espessura da pedra de granito, o programa em estudo pode realizar cálculos para, por exemplo, diferentes espessuras de isolante térmico da cobertura (compreendidas entre os 6 e os 12 cm, variando de 2 em 2 cm, por exemplo). Assim, o programa realizará um total de 44 simulações.

O último submenu, designado por “Lancement Automatique”, é utilizado quando o utilizador definiu muitas simulações. De modo a não o condicionar, possibilitando que este esteja ausente do computador, “Lancement Automatique”, permite a simulação em simultâneo de múltiplos casos de estudo.

### 3.3.3.4 – Resultados

O menu “Sorties” permite que o utilizador possa observar os resultados gerados de forma sintetizada, sob a forma de gráficos e relatórios, possibilitando ao utilizador a comparação de diferentes soluções, bem como a sua exportação para folhas de cálculo. Como ilustrado na Figura 3.18, os resultados estão distribuídos por vários separadores.

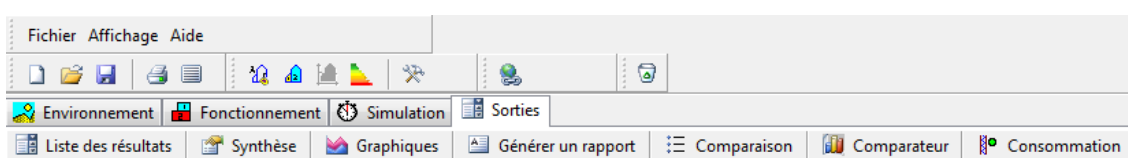


Figura 3.18 – Submenus do menu “Sorties” do módulo “Interface COMFIE”

O primeiro separador pretende ser um repositório, disponibilizando os resultados de anteriores simulações. No segundo separador, “Synthèse”, são apresentados os resultados para cada compartimento da última simulação realizada, nomeadamente sobre as necessidades de aquecimento, a potência máxima utilizada nos equipamentos, ganhos solares e internos e as temperaturas mínima, máxima e média.

No mesmo separador existem dois botões de comando: um para visualizar o Diagrama de Sankey, que apresenta de forma clara as necessidades térmicas, ganhos de calor e desperdícios de energia do edifício, e outro para descarregar um ficheiro em Excel com o registo das temperaturas, ganhos solares e potência de aquecimento e arrefecimento, em valores horários.

No separador “Graphiques”, o utilizador pode definir um gráfico a apresentar em função das variáveis a caracterizar, como a temperatura, por exemplo. Para isso, necessita de selecionar o(s) compartimento(s) do edifício e o período que o gráfico deve representar.

Em “Générer un Rapport” são identificados e apresentados todos os dados inseridos no programa, estando esquematizados em árvore, detalhando de forma completa o edifício. É também possível incluir no relatório os gráficos gerados pela simulação.

Para a comparação de várias simulações existem dois separadores: um destinado à descrição do edifício e da estação climática (Comparaison) e o outro à comparação de resultados (Compareur).

### 3.4. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

A validação dos resultados das simulações realizadas pode ser conseguida através da comparação do consumo energético real facturado com o consumo energético calculado pelo Pleaides. Outra forma viável de garantir a validação dos resultados passa também pela comparação do consumo energético calculado pelo Pleaides, para uma temperatura interior de 20°C, com o valor das necessidades energéticas para aquecimento ( $N_{ic}$ ) segundo o RCCTE.

Em “Quantificação da temperatura máxima atingida num compartimento” [35], procede-se à validação dos resultados das simulações desenvolvidas naquele documento, realizando as duas comparações indicadas no parágrafo anterior.

Sabendo que o edifício para a sua real utilização possui um sistema de aquecimento que é ativado automaticamente para uma temperatura mínima de 22 °C, foi identificada a simulação cujas condições de funcionamento mais se assemelhassem à realidade daquele edifício, e para essa, procedeu-se à comparação com o consumo energético real (Quadro 3.1), descontando-se o consumo energético para produção de águas quentes sanitárias (Quadros 3.2 e 3.3).

Quadro 3.1 – Valores do consumo de energia real para o edifício reabilitado em estudo [35]

	Período					
	Jan + Fev	Mar + Abr	Mai + Jun	Jul + Ago	Set + Out	Nov + Dez
Consumo de Energia Real (kWh)	9063	6414	1554	998	1452	8824
Consumo Energia Total Anual (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	166,5					

Quadro 3.2 – Resumo do cálculo da energia necessária para produção de águas quentes sanitárias (AQS) [35]

	Período	
	15 abril a 14 outubro	15 outubro a 14 abril
Volume de Água Quente (l/dia.pessoa)	75	
$\Delta T$ (°C)	42	48
Rendimento da Caldeira (%)	90	
Consumo de Energia (kWh)	2972	3396
Consumo de Energia Total Anual (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	37,5	

Quadro 3.3 – Resumo do consumo real de gás do edifício reabilitado durante o período de um ano [35]

Consumo de Energia Total Anual (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Consumo de Energia para Produção de AQS (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Consumo de Energia para Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
166,5	37,5	129

No mesmo documento, para a segunda comparação, foi definida outra simulação, em que para o edifício reabilitado, o sistema de aquecimento fosse ativado automaticamente para garantir uma temperatura mínima de 20 °C. Calculando para o mesmo edifício, as necessidades energéticas para aquecimento ( $N_{ic}$ ) à luz do RCCTE, realizou-se nova comparação com o consumo energético calculado pelo Pleaides para uma temperatura de 20 °C (Quadro 3.4).

Quadro 3.4 – Comparação entre o consumo de energia calculado pelo Pleaides para o edifício reabilitado e os valores obtidos através da faturação de gás natural e o método de cálculo do RCCTE [35]

	Comparação 1		Comparação 2	
	Simulação	Faturação Real	Simulação	$N_{ic}$ (RCCTE)
Temperatura de Aquecimento (°C)	22	22	20	20
Consumo Energético Anual (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	125,4	129	79,2	81,9
Custo de Energia (€/kWh)	0,05			
Custo Unitário (€/m <sup>2</sup> .ano)	6,27	6,45	3,96	4,10
Custo Total (€/ano)	1079,7	1110,7	681,9	706,0
Variação	2,90%		3,50%	

Pelos resultados das duas comparações, foi concluído que o programa Pleaides garante uma boa precisão, verificando-se uma diferença de 2,9% e 3,5% no custo total anual com energia para a primeira e segunda comparação, respetivamente.

A elevada precisão do programa informático deve ser enaltecida pois a definição das condições de utilização do edifício para as simulações estão associadas a alguma incerteza, na medida em que é extremamente difícil determinar o uso dado pelos utilizadores ao edifício. É necessário compreender que os utilizadores não abrem as portas e janelas todos os dias do mesmo modo, como também não ocupam os espaços interiores com a mesma frequência ao longo do ano.

É também fundamental compreender que a validação dos resultados com recurso ao consumo energético real só é viável se forem bem conhecidas as condições reais de utilização do edifício.





# 4

## OTIMIZAÇÃO DA ENVOLVENTE DE UM EDIFÍCIO ANTIGO REABILITADO – ESTUDO DE SENSIBILIDADE

### 4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão realizados vários estudos de sensibilidade com vista à determinação das soluções construtivas que permitem melhorar o desempenho energético e de conforto térmico de um edifício. Primeiro, começa-se por introduzir o caso a estudar, seguindo-se a metodologia e a descrição das simulações a realizar. Depois, através da realização de múltiplas simulações, procede-se ao estudo da influência da variação de cada elemento construtivo no edifício que permitirá extrair várias ilações sobre o modo como otimizar a envolvente exterior do edifício.

Para a realização do presente estudo, o autor tomou como base de apoio um trabalho realizado por Bruno [35]. Este trabalho foi aplicado ao mesmo edifício que o estudado nesta dissertação.

Nesse sentido, foram utilizadas para esta dissertação, várias informações recolhidas ou definidas pelo autor daquele trabalho, que são fundamentais para a realização das simulações, nomeadamente:

- Dados climáticos da região do Porto.
- Geometria e caracterização do edifício inserida num ficheiro Pleaides.

Outras informações da mesma autoria foram utilizadas para o tratamento de dados e para a validação dos resultados das simulações, nomeadamente sobre o consumo real de energia anual e o consumo de energia para produção de águas quentes sanitárias. Assim, o ponto 3.4 sobre a validação dos resultados é fundamentado naquele documento.

### 4.2. CASO DE ESTUDO

#### 4.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

##### 4.2.1.1. Arquitetura

O edifício em estudo refere-se a uma moradia unifamiliar localizada na cidade do Porto, composta por três pisos que juntos lhe conferem uma área útil de pavimento de 172m<sup>2</sup>. Este, embora tenha sido construído há mais de 40 anos, foi recentemente reabilitado. No Quadro 4.1 são enunciados mais detalhes sobre a localização do edifício.

Quadro 4.1 – Caracterização da localização do edifício [35]

Localização do Edifício	Porto
Latitude	41,15°
Longitude	- 8,65°
Altitude	74m
Distância à Costa	> 5Km

Apresentando três fachadas, este edifício está confinado a Norte por um edifício de habitação multifamiliar de maior altura, estando a fachada principal orientada a Oeste e a fachada posterior a Este. A Figura 4.1 permite perceber de que modo estão orientadas as diferentes fachadas do edifício. Para melhor visualização e perceção do edifício, os alçados, cortes e plantas são apresentados no **Anexo II**. Também no **Anexo III** estão especificadas as áreas e volumes de cada compartimento, bem como as suas áreas envidraçadas em função da sua orientação.

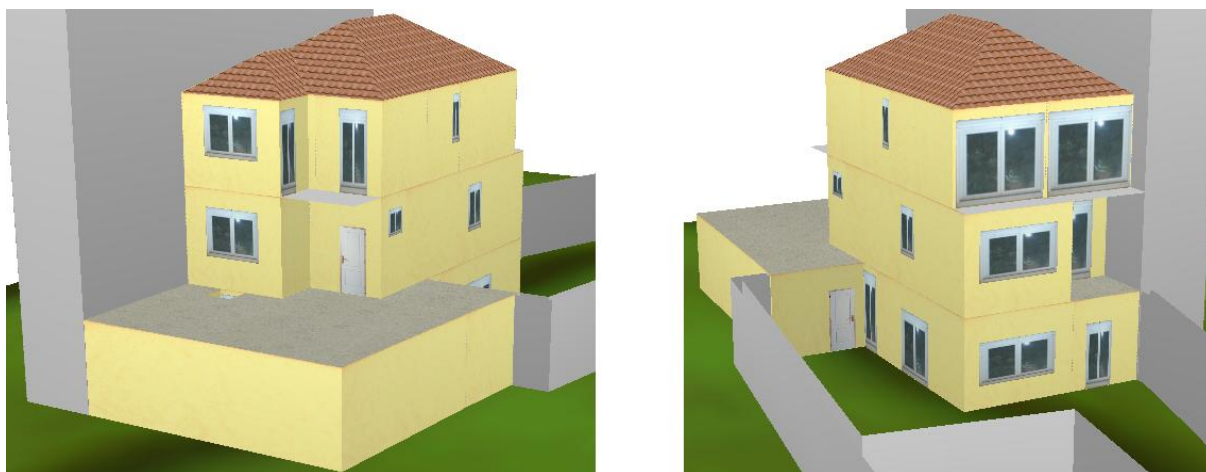


Figura 4.1 – Visualização do edifício

O primeiro piso do edifício corresponde a uma cave semienterrada e acolhe uma cozinha, uma sala (Sala 1), uma instalação sanitária (WC 1), uma despensa e ainda um compartimento para arrumos. A ligação com o piso superior é feita a partir das escadas que se iniciam na sala.

O segundo piso corresponde ao rés do chão, pavimento por onde se faz a passagem para o exterior do edifício, e compreende uma sala (Sala 2) com acesso a uma varanda, uma instalação sanitária (WC 2), e um escritório.

Por fim, o último piso, designado por 1º Andar é composto por dois quartos (Quartos 1 e 2), uma suite (Quarto 3 e WC 4) e uma instalação sanitária (WC 3).

Nas Figuras 4.2 e 4.3 são apresentados três desenhos em planta que correspondem a cada um dos pisos do edifício.

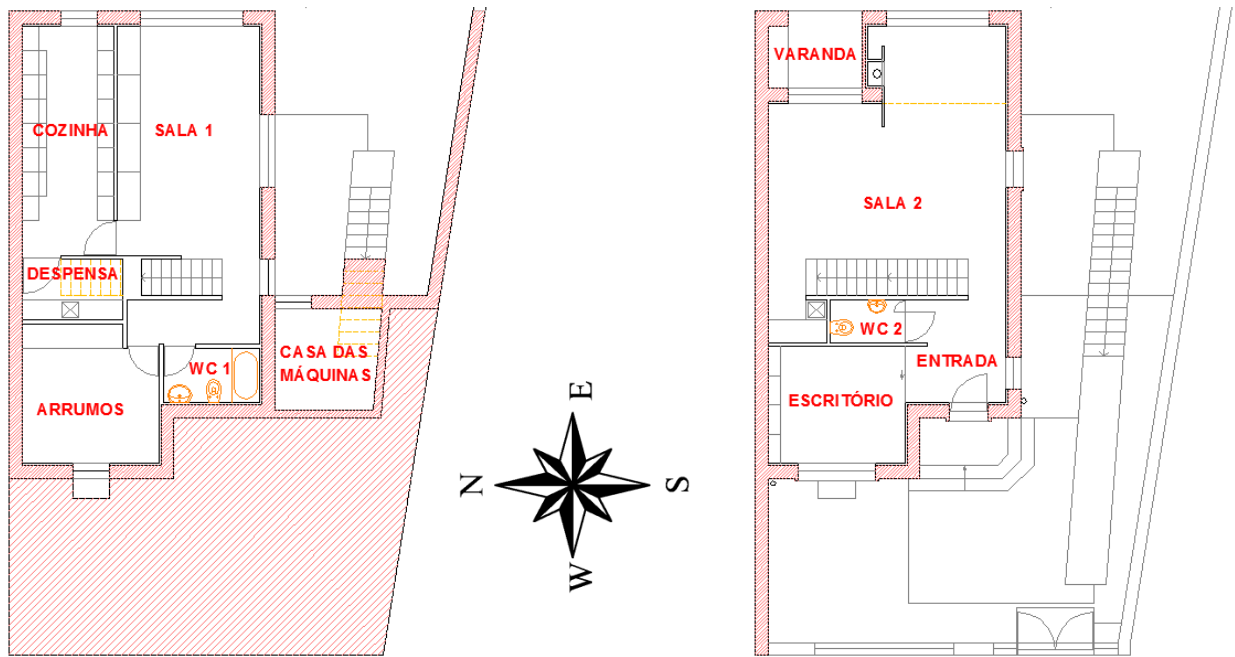


Figura 4.2 – Visualização da cave e do rés do chão, à esquerda e à direita, respetivamente

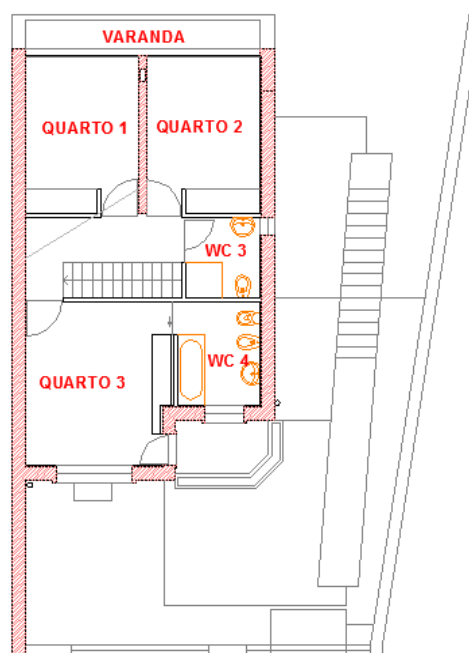


Figura 4.3 – Visualização do 1º andar

#### 4.2.1.2. Construção

A reabilitação deste edifício apenas resultou na alteração dos elementos que compõe a envolvente exterior, ou seja, da cobertura, paredes exteriores e vãos envidraçados. Assim, começará por se analisar os elementos que sofreram alterações quanto à sua constituição, descrevendo depois aqueles que se mantiveram intactos com a intervenção.

O edifício em estudo possui uma cobertura em desvão com uma laje de esteira em betão armado, pelo que, o espaço vazio resultante é considerado fortemente ventilado. Antes de ser reabilitado, a laje de esteira não apresentava isolante térmico. No entanto, com a reabilitação, aquela passou a estar associada a um isolante térmico de 12cm de espessura, como está ilustrado no Quadro 4.2. A Figura 4.4 permite uma melhor perceção da cobertura do edifício antes e depois da reabilitação.

Quadro 4.2 – Caracterização da cobertura do edifício, antes e depois da reabilitação

Designação	Espessura do Isolante Térmico – EPS (cm)	Espessura da Laje de Betão Armado (cm)	$U_{\text{elemento}}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
CO <sup>3</sup>	0	20	9,09
CR <sup>4</sup>	12	20	0,31

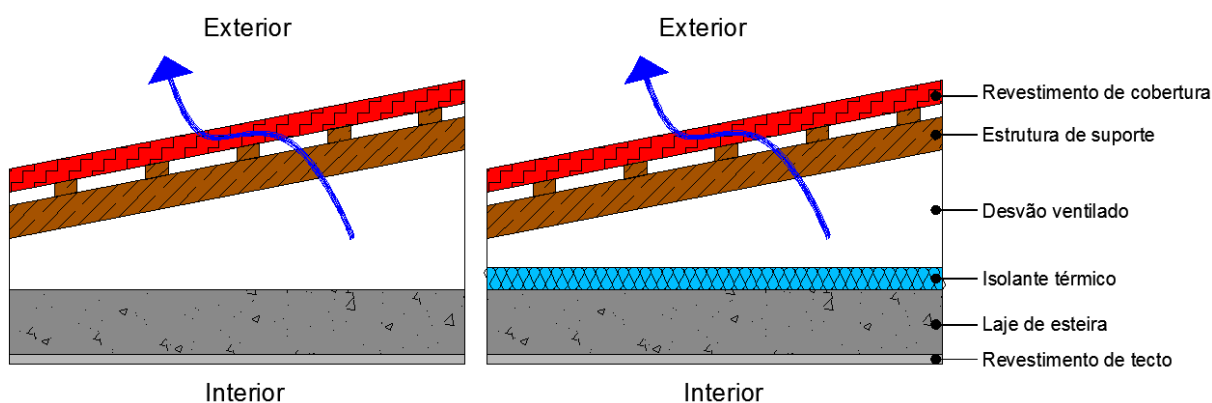


Figura 4.4 – Representação da cobertura do edifício, antes e depois da reabilitação

Antes da reabilitação, as paredes exteriores do edifício eram compostas por espessas pedras de granito, designando-se então por alvenaria de pedra. Com a intervenção, foi aplicado às paredes um isolante térmico pelo exterior, o qual é sobreposto com um revestimento delgado armado, tal como é ilustrado no Quadro 4.3 e Figura 4.5.

Quadro 4.3 – Caracterização das paredes exteriores do edifício, antes e depois da reabilitação

Designação	Espessura do Isolante Térmico (cm)	Espessura da Pedra de Granito (cm)	$U_{\text{elemento}}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PO <sup>5</sup>	0	30	3,45
PR <sup>6</sup>	5,5	30	0,59

<sup>3</sup> Cobertura original

<sup>4</sup> Cobertura após reabilitação

<sup>5</sup> Paredes exteriores originais

<sup>6</sup> Paredes exteriores após reabilitação

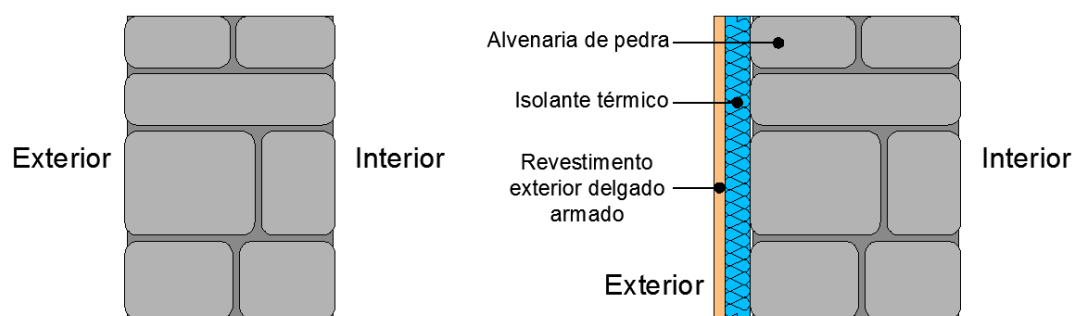


Figura 4.5 – Representação da parede de fachada do edifício, antes e depois da reabilitação

Relativamente aos vãos envidraçados, as suas características diferem em função da sua orientação, independentemente de se considerar o edifício pré ou pós reabilitação. No entanto, após a reabilitação, os vãos envidraçados são melhor isolados termicamente, transmitindo menor radiação solar e oferecendo maior resistência térmica, como é ilustrado no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Caracterização dos vãos envidraçados do edifício, antes e depois da reabilitação

Designação	Orientação	Caracterização	$U_{\text{Envidraçado}}$ ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )	Fator Solar de Inverno	Fator Solar de Verão
EO <sup>7</sup>	Nascente	Caixilharia em madeira com vidro simples	4,4	0,82	0,53
	Sul e Poente		3,7	0,82	0,30
ER <sup>8</sup>	Nascente	Caixilharia em madeira com vidro duplo	2,5	0,56	0,20
	Sul e Poente		2,3	0,56	0,10

No que diz respeito aos restantes elementos construtivos, mantêm-se constantes após a reabilitação e a sua caracterização será feita através de figuras e quadros para uma mais fácil compreensão. Assim, a caracterização da parede interior, pavimento térreo, pavimento intermédio e portas é apresentada nas Figuras 4.6, 4.7, 4.8 e Quadro 4.5, respetivamente.

<sup>7</sup> Vãos envidraçados originais

<sup>8</sup> Vãos envidraçados após reabilitação

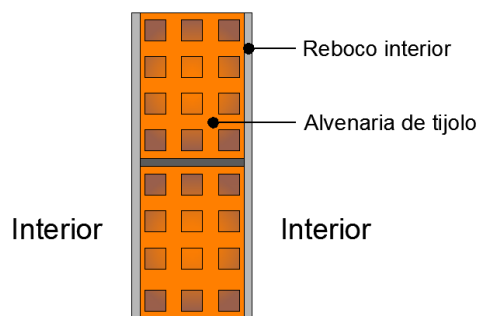


Figura 4.6 – Representação das paredes interiores do edifício

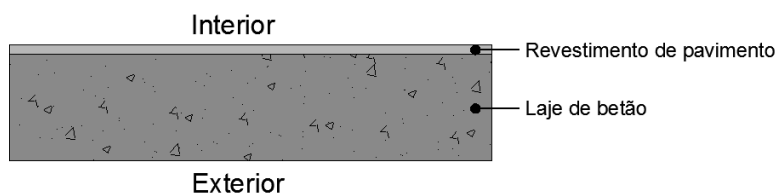


Figura 4.7 – Representação do pavimento térreo

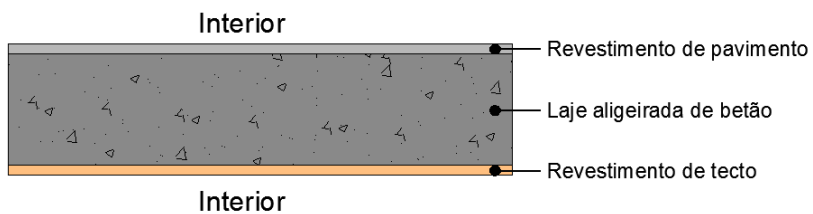


Figura 4.8 – Representação do pavimento intermédio

Quadro 4.5 – Caracterização das portas do edifício

Caracterização	$U_{\text{Porta}}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
Porta de Madeira Interior	5
Porta de Madeira Maciça Principal	3,5

#### 4.2.2. DADOS CLIMÁTICOS

Para a realização das simulações e portanto, dos estudos de sensibilidade, optou-se por utilizar “uma base de dados criada a partir de ficheiros de dados climáticos em formato TMY2 (Typical Meteorological Year, version 2) obtidos através do Meteonorm. O Meteonorm é um software que incorpora uma base de dados de cerca de 7400 estações climáticas em todo o mundo, e um gerador de dados climáticos sintéticos. A partir da lista de estações climatológicas disponíveis nesse programa, foram gerados os dados horários de temperatura do ar exterior, humidade relativa, radiação solar difusa e radiação solar direta horizontal para um ano típico do Porto” [35].

No Quadro 4.6 são apresentados os valores dos dados climáticos em médias mensais que foram utilizados nas simulações.

Segundo o autor do trabalho, que serve de apoio à caracterização do caso em estudo, foi necessário optar por dados climáticos gerados por um programa informático pois, apesar de existir uma estação meteorológica próxima do edifício em estudo, nomeadamente a estação meteorológica da FEUP, esta não apresentava um registo contínuo de valores para o intervalo em estudo de um ano.

Quadro 4.6 – Resumo dos valores dos dados climáticos em médias mensais [35]

	Concelho do Porto											
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Out	Nov	Dez
Temperatura Exterior (°C)	11,4	11,3	13,0	13,0	15,0	17,9	19,4	19,6	18,8	16,7	12,8	11,7
Humidade Relativa (%)	75	75	73	80	81	79	79	80	77	79	78	75
Radiação Solar Difusa (kWh/m <sup>2</sup> )	40	52	73	97	105	111	105	97	76	60	42	30
Radiação Solar Directa Horizontal (kWh/m <sup>2</sup> )	40	54	97	113	154	178	172	161	126	76	42	34

### 4.3. CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

#### 4.3.1. METODOLOGIA PARA A DEFINIÇÃO DAS SIMULAÇÕES

O estudo de sensibilidade visa analisar os indicadores de conforto e consumo energético do edifício face às diversas variáveis relativas à sua utilização e face a cada solução de reabilitação, permitindo assim a sua avaliação na perspetiva geral do edifício.

A definição de uma solução para a envolvente do edifício é conseguida pela combinação de um determinado nível de qualidade térmica para cada um dos elementos a intervir (coberturas, paredes exteriores e vãos envidraçados) associado ao nível exigencial pretendido.

Para a análise de sensibilidade torna-se então fundamental identificar todas as soluções de isolamento térmico para a envolvente do edifício, de modo a ensaiar cada uma com o programa Pleaides. Atendendo a que a otimização da envolvente do edifício só é conseguida comparando as múltiplas soluções de reabilitação entre si, é necessário definir as variáveis relativas ao funcionamento do edifício. Estas, quando associadas a cada solução, constituirão múltiplas simulações, permitindo a determinação de resultados para situações limites de utilização do edifício.

A possibilidade de realizar um elevado número de simulações conduz a um vasto campo de resultados, permitindo identificar qual o melhor compromisso para a reabilitação bem como a influência de cada parâmetro no comportamento térmico do edifício.

Posto o referido nos parágrafos anteriores, é ilustrada na Figura 4.9, sob a forma de um esquema, a descrição das simulações possíveis de realizar de forma a satisfazer os objetivos da dissertação.

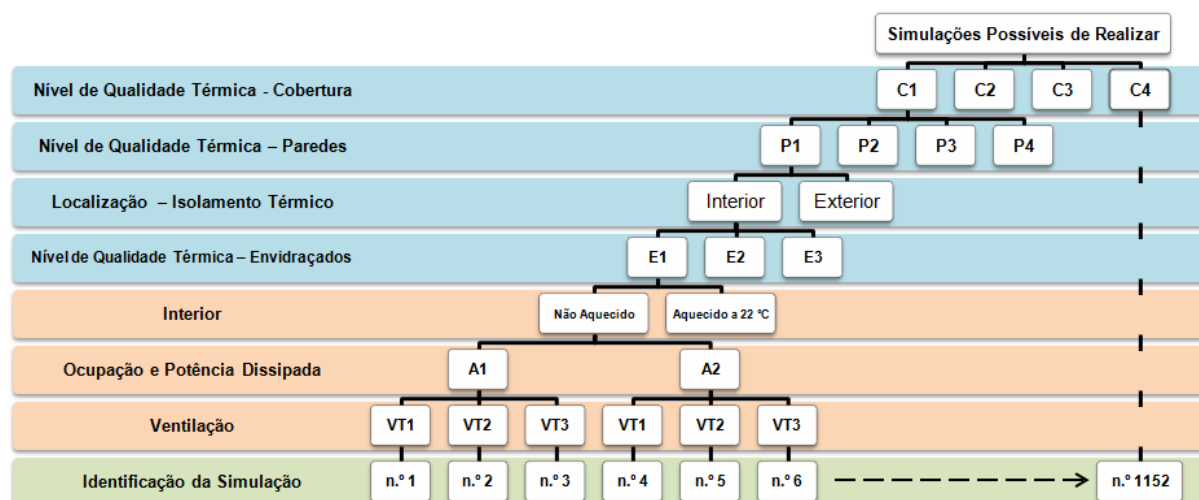


Figura 4.9 – Simulações possíveis de realizar para procura da solução otimizada

Devido ao elevado número de simulações, não sendo possível representar todas elas, o esquema da Figura 4.9 confere no entanto a ideia de como se especificam as restantes simulações. Com vista a uma melhor explanação do esquema, considerar-se-á que aquele está dividido em três partes, cada uma constituída por um conjunto de barras coloridas, de modo a clarificar o processo de definição das simulações.

A primeira parte, com barras horizontais de cor azul, corresponde às soluções de reabilitação aplicadas ao edifício. Hierarquicamente, o primeiro parâmetro a ser definido diz respeito à qualidade térmica da cobertura, existindo quatro níveis que são designados pela inicial do elemento ao qual correspondem e pelo número do nível. Escolhido o nível de isolamento para a cobertura, segue-se a escolha relativa à qualidade térmica das paredes e, tal como para a cobertura, a forma de designação é a mesma, para além de que quanto maior o nível, maior é a resistência térmica. Assim, se o esquema estivesse representado de forma completa, cada nível de qualidade térmica da cobertura deveria gerar outros tantos níveis de qualidade térmica de paredes exteriores tal como ilustrado na Figura 4.10.

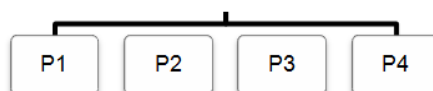


Figura 4.10 – Decomposição de cada nível de qualidade térmica da cobertura.

Continuando, para o nível de qualidade térmica das paredes exteriores é definida a localização do sistema de isolante térmico, se pelo interior ou pelo exterior. A localização do sistema de isolamento



térmico constitui uma saída para cada nível de qualidade térmica das paredes exteriores, como ilustrado na Figura 4.11. A solução de reabilitação é finalizada, quando para o posicionamento escolhido, se define o nível de qualidade térmica dos vãos envidraçados.

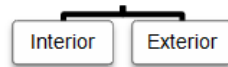


Figura 4.11 – Decomposição de cada nível de qualidade térmica das paredes exteriores

Constituída por barras horizontais de cor laranja, a segunda parte do esquema diz respeito aos parâmetros relativos à utilização do edifício. Ilustrado na Figura 4.12, cada solução de reabilitação pode ser submetida a diferentes condições de climatização, com ou sem aquecimento, pelo que no caso de se considerar a existência de um sistema de aquecimento, este funcionará automaticamente de modo a garantir uma temperatura interior mínima de 22° C.

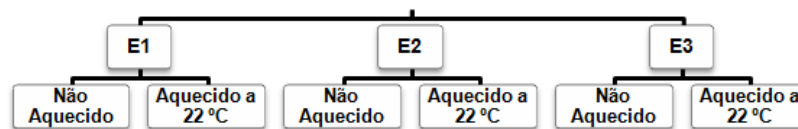


Figura 4.12 – Decomposição para cada localização do sistema de isolamento térmico

Para a condição escolhida anteriormente, é depois fixado o grau de ocupação no interior, um ou dois, caso se pretenda um ambiente interior que crie uma quantidade de energia equiparável ao de uma família constituída por 4 elementos com um número de aparelhos em consonância, ou, a uma mais intensa ocupação humana com um elevado número de aparelhos, respetivamente. Finalmente, dever-se-á estabelecer um nível de ventilação para cada ocupação, de 1 a 3, sendo que o nível 3 está associado à maior velocidade de renovação do ar interior e o nível 1 à menor. A Figura 4.13 permite observar a especificação das soluções para cada condição de climatização.

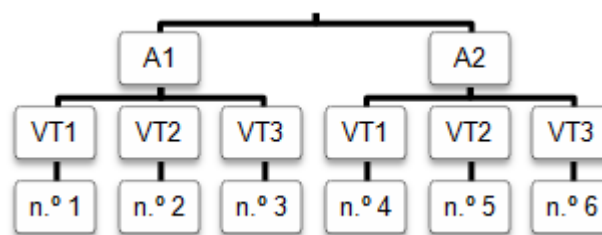


Figura 4.13 – Decomposição para cada condição de climatização do ambiente interior

A última parte do esquema, constituída apenas por uma barra horizontal de cor verde, exhibe o número da simulação correspondente para uma mais rápida identificação das soluções e parâmetros escolhidos com vista ao cálculo e avaliação de cada simulação.

Para que seja possível avaliar a solução escolhida face ao edifício no estado original e após a reabilitação, é necessário proceder outras simulações, de modo a perceber se aquela constitui uma

mais-valia para os utilizadores. A metodologia é a mesma, diferindo apenas o número de soluções construtivas a ensaiar, como é possível observar na Figura 4.14.

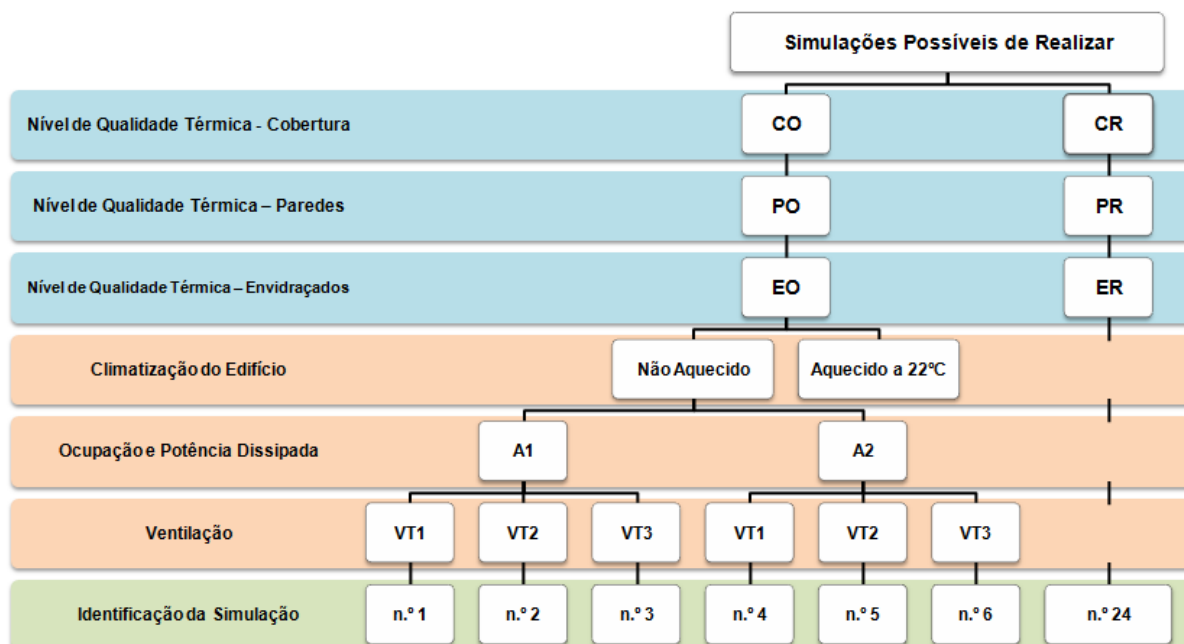


Figura 4.14 – Simulações a realizar para a avaliação da reabilitação do edifício em estudo

Relativamente à nomenclatura, para as soluções construtivas a primeira letra diz respeito ao elemento construtivo e a segunda corresponde ao nível de qualidade térmica, podendo ser “O” se representa o edifício antes de sofrer a intervenção, ou então “R” para o edifício após a reabilitação.

#### 4.3.2. DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

As soluções construtivas consideradas para as simulações são caracterizadas em função do seu nível exigencial. Nos próximos pontos, procede-se à caracterização de cada solução e das condições de funcionamento a que se vai submeter o edifício em estudo.

Para a cobertura e paredes exteriores, a determinação do nível de qualidade térmica é feita apenas pela quantificação do coeficiente de transmissão térmica. O reforço do isolamento térmico é feito através da aplicação de placas de poliestireno expandido (EPS). Assim, a cada nível de qualidade térmica corresponderão diferentes espessuras de isolante térmico, determinadas de modo a satisfazerem o coeficiente de transmissão térmica imposto por cada nível.

No caso dos envidraçados, a sua qualidade térmica não é só definida pelo coeficiente de transmissão térmica do conjunto caixilharia-vidro, mas também pelo seu fator solar.

##### 4.3.2.1. Cobertura

Atendendo ao facto de o edifício possuir uma cobertura inclinada, é formada por essa um espaço não útil, designado por sótão, considerando-se fortemente ventilado. Por esse motivo, o reforço do isolamento térmico deverá ser feito sobre a laje de esteira, para os níveis apresentados no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Soluções para o reforço do isolamento térmico da cobertura

Designação	Nível de Qualidade Térmica	$U_{ref}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_{max}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Espessura do Isolante Térmico - EPS (cm)	Espessura da Laje de Betão (cm)	$U_{solução}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
C1	1	0,45	0,45	8	20	0,45
C2	2		0,34	11		0,34
C3	3		0,27	14		0,27
C4	4		0,23	16		0,23

#### 4.3.2.2. Paredes Exteriores

Às paredes exteriores serão aplicadas também as placas de poliestireno expandido (EPS), cuja espessura deverá ser em função do nível de qualidade pretendido, de acordo com o apresentado no Quadro 4.8. Para a mesma espessura de isolante térmico, aquele pode ser colocado pelo interior ou exterior ao edifício, designado durante as simulações por “T” ou “E”, respetivamente.

Quadro 4.8 – Soluções para o reforço do isolamento térmico das paredes exteriores

Designação	Nível de Qualidade Térmica	$U_{ref}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_{max}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Espessura do Isolante Térmico – EPS (cm)	Espessura da Pedra de Granito (cm)	$U_{solução}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
P1	1	0,60	0,60	5.5	30	0,59
P2	2		0,45	7.5		0,44
P3	3		0,36	9.5		0,36
P4	4		0,30	11.5		0,30

#### 4.3.2.3. Envidraçados

Face aos vãos envidraçados instalados no edifício, nas soluções em estudo, apresentadas no Quadro 4.9, manter-se-ão as proteções solares interiores, no entanto, as caixilharias de madeira estarão associadas a um vidro duplo.

Quadro 4.9 – Soluções para o melhoramento do comportamento térmico dos vãos envidraçados

Designação	Nível de Qualidade Térmica	$U_{ref}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_{max}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_{solução}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Factor Solar Admissível no Verão	Factor Solar Inverno	Fator Solar Verão
E1	1	3,30	3,30	3,30	$0,25 \leq g < 0,56$	0,56	0,50
E2	2		2,50	2,50	$0,10 \leq g < 0,25$	0,56	0,24
E3	3		2,00	2,00	$g < 0,10$	0,56	0,09

#### 4.3.3. DESCRIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

Para a realização das simulações considerou-se a regulação de algumas variáveis relativas ao funcionamento do edifício, tais como o aquecimento do ambiente interior do edifício, o nível de intensidade de ocupação, a potência dissipada e ainda a sua ventilação. Existem ainda duas condições associadas à utilização do edifício que se manterão constantes: a ventilação interna e a ativação das proteções dos envidraçados.

As simplificações consideradas posteriormente na definição dos diferentes cenários, têm em vista o aumento da celeridade da preparação e execução das simulações e são possíveis pois não afetam significativamente os resultados.

No decorrer das simulações, far-se-á por diversas vezes referência a:

- Período de ocupação do edifício: todo o ano com exceção de 5 a 27 de Agosto (período de férias).
- Estação de Arrefecimento (verão): 28 de maio a 30 de setembro.
- Estação de Aquecimento (inverno): 1 de outubro a 27 de maio.

##### 4.3.3.1. Climatização

Durante as simulações podem ser consideradas duas hipóteses para a climatização do edifício: a ausência de qualquer sistema de aquecimento no edifício ou a existência de um sistema de aquecimento que permita uma temperatura mínima de 22°C para o ambiente interior. No caso de se ter optado pela segunda, o sistema é ativado automaticamente de forma a garantir aquela temperatura durante todo o período de ocupação do edifício.

##### 4.3.3.2. Ocupação

Nas simulações, é possível variar o nível de ocupação do edifício, correspondendo a designação do esquema da Figura 4.9, A1, a uma ocupação comum num edifício de habitação unifamiliar com três quartos, e A2, a uma ocupação mais elevada, valendo o dobro da primeira.

Para o desenvolvimento desta dissertação foi considerado que a ocupação comum num edifício de habitação unifamiliar com três quartos corresponde ao acolhimento de uma família constituída por 4 elementos, com atividade profissional durante os cinco dias da semana, em horário diurno, permanecendo todo o fim de semana no interior da habitação.

De forma a representar ao máximo o real cenário de ocupação do edifício em estudo, foi definido para cada zona um cenário de ocupação semanal de modo a refletir a rotina mais comum de uma família que resida no interior de uma habitação deste género. Todos estes cenários semanais são repetidos ao longo de um ano com exceção do período de férias de verão, que corresponde ao intervalo compreendido entre as semanas 32 e 34, ou seja, 5 a 27 de agosto.

Existem vários compartimentos que raramente são ocupados e outros que servem apenas de passagem e por isso, apenas os quartos, cozinha, salas e escritório foram sujeitos à aplicação destes cenários. Desse modo, não se aplica nenhuma ocupação humana às restantes zonas.

No **Anexo IV** constam os cenários semanais de ocupação de cada zona.

#### 4.3.3.3. Potência Dissipada

A potência dissipada pelos diversos equipamentos e dispositivos de iluminação difere consoante o compartimento e período do dia em causa. Por esse motivo, foram fixados diferentes valores horários para cada compartimento, apresentados em anexo.

Observando o esquema da Figura 4.9, constata-se que existe uma variável na definição das simulações que está associada à ocupação e à potência dissipada. Desse modo, a designação A1 corresponde à ocupação de uma família comum a habitar num edifício deste tipo, como também em simultâneo, à potência dissipada no seu interior.

Como foi referido no ponto anterior, 4.3.3.2, a designação A2 corresponde em valor ao dobro da A1, pelo que o mesmo raciocínio é aplicado também à potência dissipada.

No Anexo IV constam os cenários semanais de potência dissipada de cada zona.

#### 4.3.3.4. Ventilação

Para a ventilação externa considerou-se que esta se processa de modo diferente na estação de aquecimento e arrefecimento. Como está apresentado na Figura 4.9, para a realização das simulações, consideraram-se três condições de ventilação que são apresentadas no Quadro 4.10.

No Anexo IV constam os cenários semanais de ventilação de cada zona.

Quadro 4.10 – Condições de ventilação do edifício

	Estação de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	Entre as		Entre as	
	7h e as 21h	21h e as 7h	7h e as 21h	21h e as 7h
VT1	0,8 h <sup>-1</sup>	0,6 h <sup>-1</sup>	0,6 h <sup>-1</sup>	0,8 h <sup>-1</sup>
VT2	0,9 h <sup>-1</sup>	0,6 h <sup>-1</sup>	1,0 h <sup>-1</sup>	2,5 h <sup>-1</sup>
VT3	1,2 h <sup>-1</sup>	0,6 h <sup>-1</sup>	1,0 h <sup>-1</sup>	3,5 h <sup>-1</sup>

#### 4.3.3.5. Ventilação Interna

No que diz respeito à ventilação entre os vários compartimentos que compõe o edifício, considerou-se que esta se processava de forma natural, impondo ao Pleaides a abertura permanente das portas interiores. Para tal definiu-se no próprio programa um esquema que representa o modo como as diferentes zonas térmicas interagem entre si, apresentado na Figura 4.15. A ventilação interna é igual em todas as simulações.

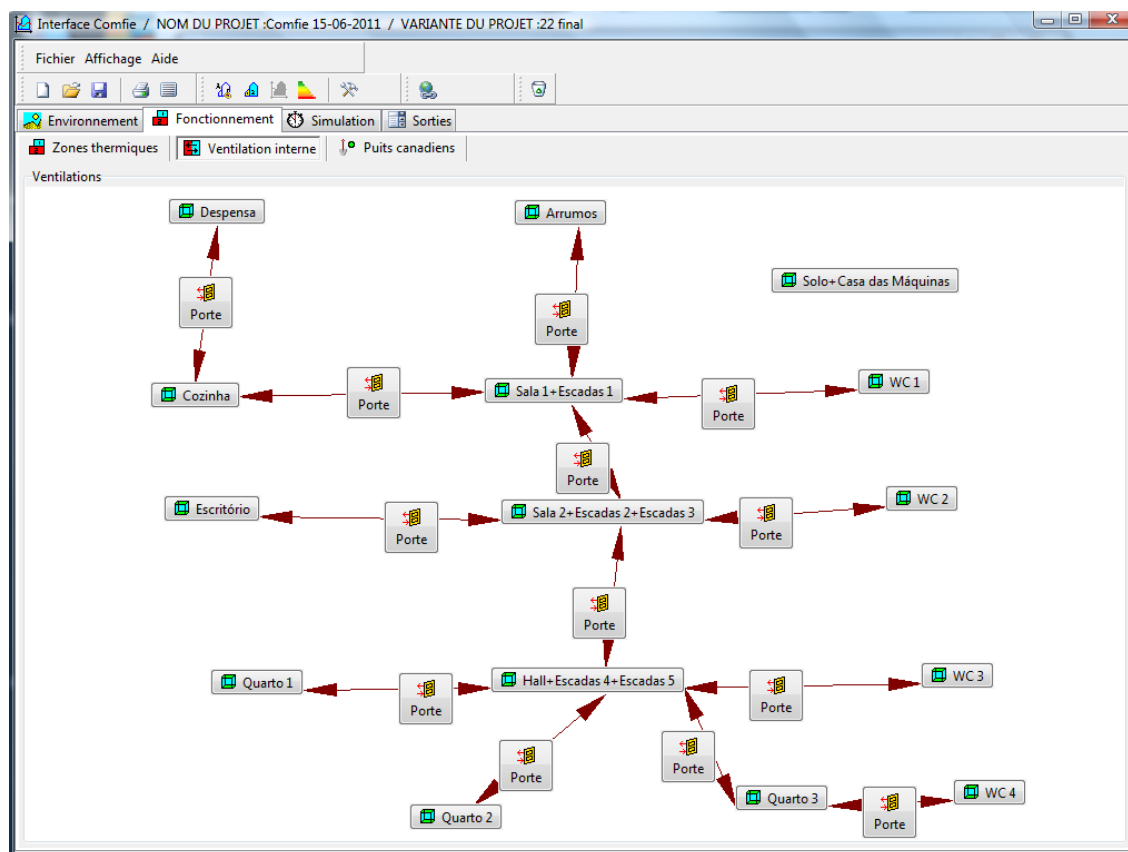


Figura 4.15 – Modo de processamento da ventilação interna do edifício

#### 4.3.3.6. Ativação das Proteções dos Envidraçados

A proteção dos envidraçados face à radiação solar é feita de igual modo em todas as simulações. No entanto, a ativação é feita de forma diferente na estação de aquecimento e arrefecimento, diferenciando também ao longo do dia. Como se pode observar no Quadro 4.11, durante o período diurno, a ativação é feita sempre de modo a potenciar e diminuir os ganhos solares, na estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente. No entanto, para a estação de aquecimento, a ativação é considerada até 30%, refletindo outros interesses por parte dos utilizadores, relativos à privacidade do ambiente interior.

Quadro 4.11 – Modo de ativação das proteções dos envidraçados

Estação de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
Entre as		Entre as	
7h e as 19h	19h e as 7h	7h e as 19h	19h e as 7h
30%	100%	100%	100%

No Anexo IV constam os cenários semanais de ocultação de cada zona.

#### 4.4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA – DESEMPENHO ENERGÉTICO E DE CONFORTO

A otimização da envolvente implica o estudo de vários parâmetros através da realização de simulações. Compreendendo que o desenvolvimento da dissertação tem um limite temporal, o autor opta por realizar um menor número de simulações atendendo à metodologia indicada (ponto 4.3.1), realizando apenas aquelas que lhe permitem retirar ilações para uma melhor triagem na definição de soluções construtivas com vista à otimização.

Para a maioria das simulações, foi considerado que o edifício funcionava sob condições normais de utilização, atendendo à tipologia do edifício em estudo. Desse modo, fixou-se a ocupação A1 e um nível de ventilação VT2, como sendo as características de funcionamento a ocorrer com maior probabilidade.

Para todas as simulações realizadas, o autor considera que as temperaturas que propiciam um ambiente termicamente agradável são as compreendidas no intervalo definido pela temperatura mínima, 20 °C, e a máxima, 25 °C.

A análise de sensibilidade, para compreender a influência do nível de qualidade térmica da cobertura, paredes exteriores, envidraçados e a localização do isolante térmico, será aplicada ao edifício reabilitado, permitindo assim perceber os efeitos da variação daqueles parâmetros. Obviamente, também a otimização da envolvente será aplicada ao edifício reabilitado.

Os resultados de cada simulação realizada serão apresentados através de gráficos e quadros devidamente identificados pelo número da simulação e pelo seu código, para uma fácil interpretação das soluções construtivas e condições de utilização consideradas. A Figura 4.16 auxilia a decifrar o código de cada simulação.

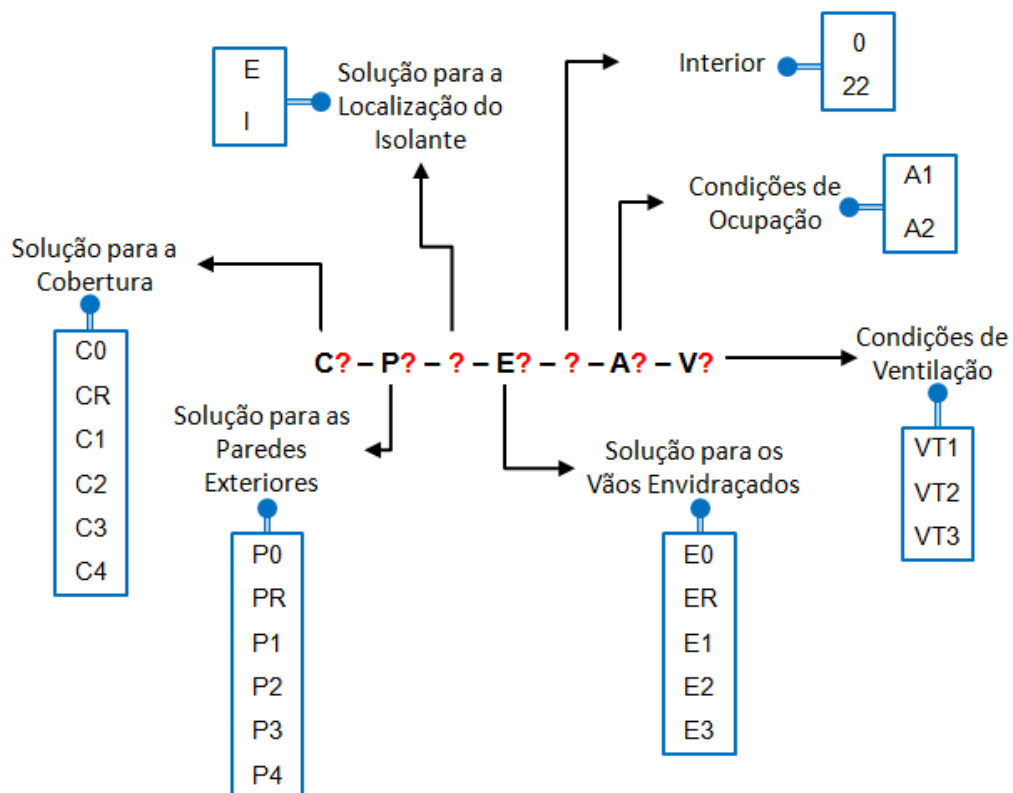


Figura 4.16 – Interpretação do código de identificação das simulações

#### 4.4.1. AVALIAÇÃO DO EDIFÍCIO APÓS REABILITAÇÃO

Para que se possa avaliar a intervenção realizada no edifício, nos pontos seguintes, são realizadas simulações para o edifício no seu estado original e após reabilitação, sem e com sistema de aquecimento (Quadro 4.12).

Quadro 4.12 – Simulações realizadas para avaliação do edifício reabilitado

Simulações Realizadas	
Número	Código
1	CO-PO-EO-0-A1-VT2
2	CR-PR-ER-0-A1-VT2
3	CO-PO-EO-22-A1-VT2
4	CR-PR-ER-22-A1-VT2

##### 4.4.1.1. Sem aquecimento

Comparando as simulações 1 e 2 (Figuras 4.17 a 4.21), constata-se que a reabilitação do edifício conduz a um maior conforto no interior dos compartimentos em estudo ao longo do ano simulado, observando-se menores flutuações térmicas e picos de temperatura mínima e máxima mais agradáveis.

A menor amplitude térmica nos compartimentos é confirmada pela diminuição da diferença entre os picos de temperatura e pelo respetivo desvio padrão (Figura 4.21).

Começando por analisar a estação de arrefecimento, verifica-se que a reabilitação provoca uma descida acentuada dos picos de temperatura máxima, principalmente no Quarto 2, onde se regista uma descida de 8,6°C (de 35 para 26,4°C). Os picos de temperatura mínima descem ligeiramente, até 0,5°C no caso do Escritório, fruto do maior isolamento térmico da envolvente e dos menores ganhos solares (Figura 4.21).

De modo geral, constata-se que o conforto térmico aumenta consideravelmente naquela estação devido à diminuição da ocorrência de temperaturas superiores a 25°C (Figuras 4.19 e 4.20).

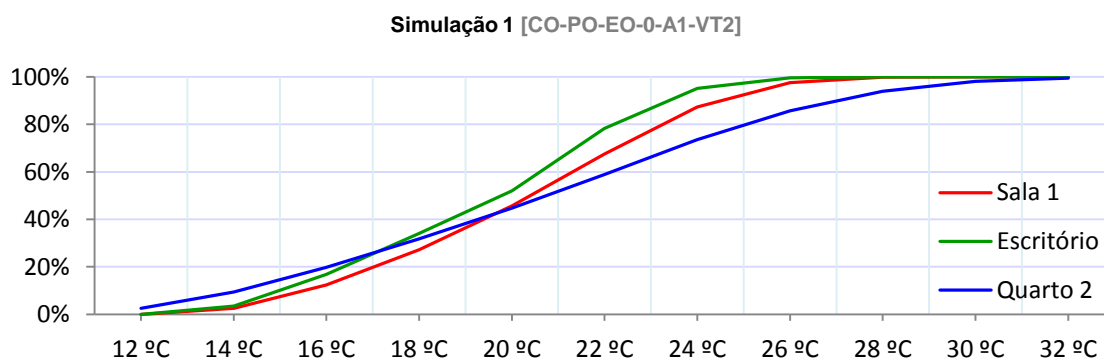


Figura 4.17 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 1



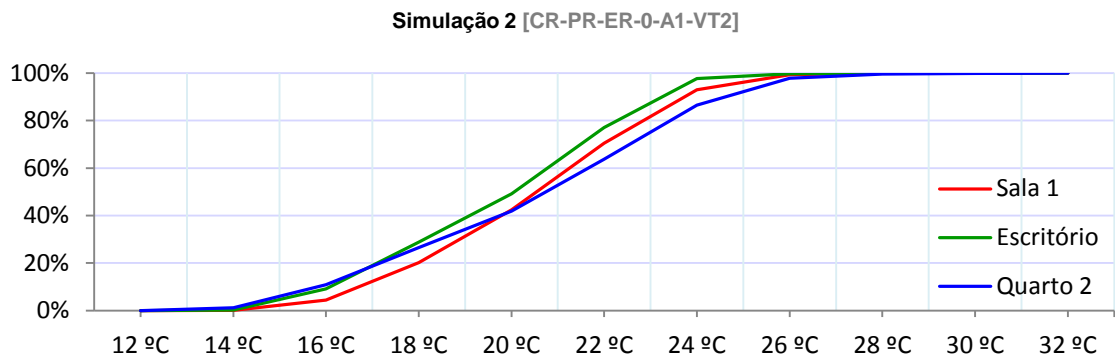


Figura 4.18 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 2

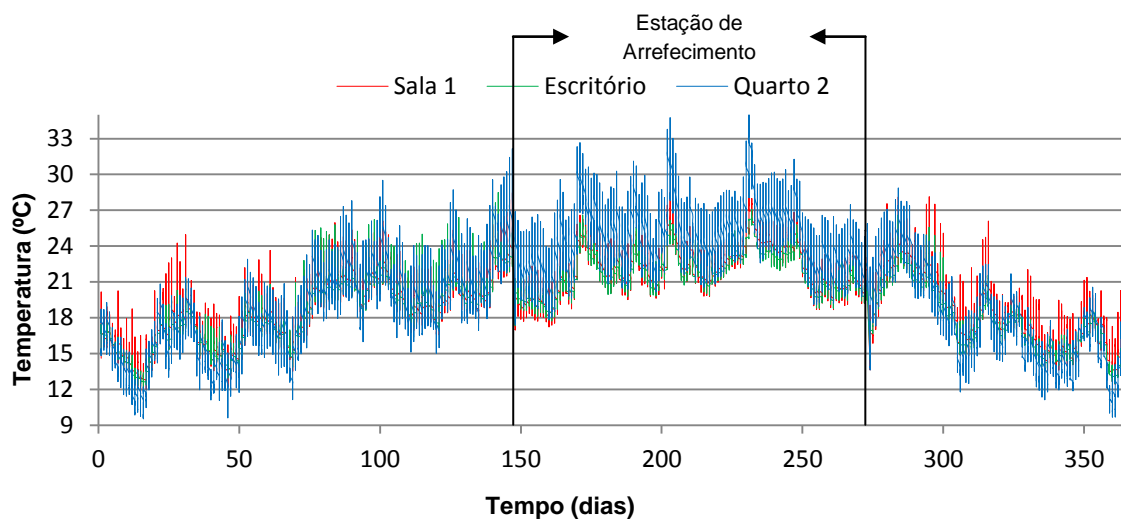


Figura 4.19 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 1

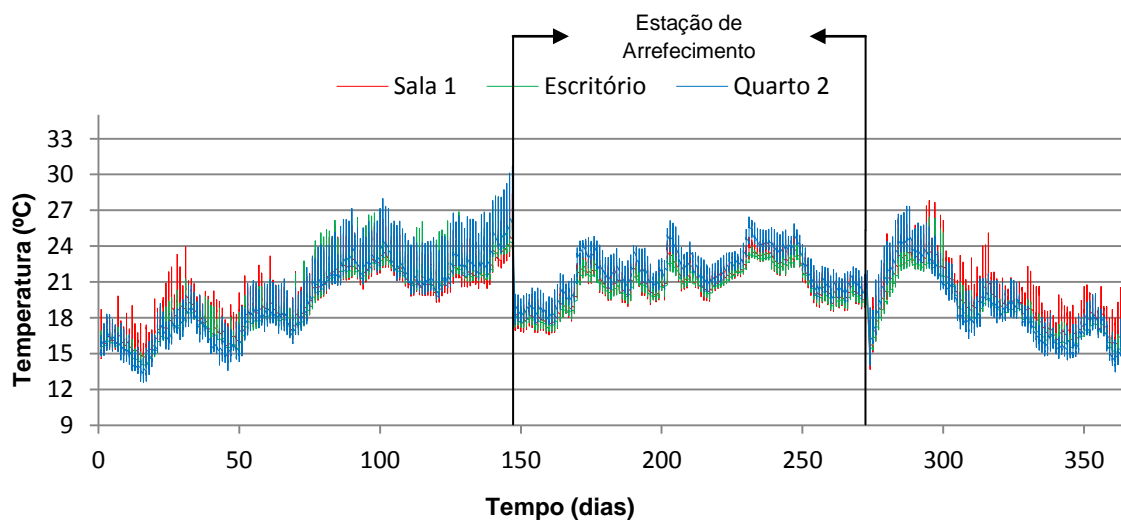


Figura 4.20 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 2

	Simulação 1			Simulação 2		
	CO-PO-EO-0-A1-VT2			CR-PR-ER-0-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	45,72%	52,01%	44,72%	42,43%	49,23%	41,92%
20 °C a 25 °C	47,69%	46,32%	35,49%	55,58%	49,77%	52,01%
Mais de 25 °C	6,59%	1,67%	19,79%	1,99%	1,00%	6,07%
T min. (°C) - Inverno	11,9	12,1	9,5	13,7	13,7	12,6
T max. (°C) - Inverno	28,5	28,4	32,1	28,4	28,1	30,7
T mediana (°C)	20,4	19,8	20,8	20,6	20,1	20,8
T min. (°C) - Verão	17,0	17,4	17,4	16,6	16,9	17,5
T max. (°C) - Verão	28,5	27,1	35,0	24,9	24,2	26,4
Desvio Padrão (°C)	3,28	3,06	4,79	2,54	2,58	3,20

Figura 4.21 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 1 e 2

Relativamente à estação de aquecimento, a reabilitação também resulta bastante bem do ponto de vista do conforto térmico. Para os três compartimentos regista-se um aumento significativo dos picos de temperatura mínima que pode chegar aos 3,1°C no caso do Quarto 2 (de 9,5 para 12,6°C – Figura 4.21).

Observando as Figuras 4.19 a 4.21, verifica-se que a temperatura máxima registada no período de inverno é também menor, principalmente no Quarto 2 (de 32,1 para 30,7°C), o que também acontece devido à diminuição acentuada do fator solar para aquela estação. No entanto, na realidade, não se registam aquelas temperaturas pois os utilizadores recorrem às proteções dos envidraçados pelo exterior ou interior quando necessário. Assim, para as simulações realizadas nesta dissertação, os picos de temperatura máxima exagerados registados no inverno não constituem tanta preocupação como os observados no verão.

Os picos de temperatura máxima algo elevados devem-se à proteção solar dos vãos envidraçados estar ativada permanentemente a 30% durante período diurno para a estação de aquecimento, como é explicado no ponto 4.3.3.6. Por exemplo, na ocorrência de dias mais quentes em maio, presume-se que os utilizadores ativariam a 100% a proteção dos envidraçados.

Embora sejam apresentados para todas as simulações os picos de temperatura mínima e máxima, é necessário observar com atenção os valores registados nos gráficos de evolução da temperatura para o ano simulado, pois podem tratar-se de valores atípicos.

A intervenção sobre o edifício resulta num menor risco de sobreaquecimento que pode ser percebido pela anulação de temperaturas superiores a 25°C na Sala 1 e no Escritório durante a estação de arrefecimento (Figura 4.21). O maior conforto térmico pode ser verificado pelo aumento do período com que ocorrem temperaturas compreendidas entre os 20 e 25°C (Figura 4.21).

O Quarto 2 é dos compartimentos em estudo, o mais vulnerável ao sobreaquecimento e o mais beneficiado com a intervenção. Mesmo após a reabilitação, continuam a registar-se temperaturas superiores a 25°C e observando as Figuras 4.19 e 4.20, constata-se que é neste que existem as maiores temperaturas durante a estação de arrefecimento.

No entanto, com a intervenção, é o que verifica a maior redução da temperatura máxima, o maior aumento da temperatura mínima e o maior aumento da ocorrência de temperaturas compreendidas no intervalo de 20 a 25°C (de 35,49 para 52,01%).

Sintetizando, a reabilitação a que o edifício foi sujeito resulta num aumento inegável do conforto térmico. Durante a estação de aquecimento, os picos de temperatura mínima aumentam em valor (até 3,1°C no caso do Quarto 2), e na estação de arrefecimento, os picos de temperatura máxima sofrem uma acentuada diminuição, podendo atingir os 8,6°C no caso do Quarto 2. Em todo o período simulado verificam-se menores flutuações térmicas nos três compartimentos, além de que o Quarto 2 é o compartimento que mais beneficia com a reabilitação, registando o maior aumento do período de ocorrência de temperaturas entre 20 e 25°C.

#### 4.4.1.2. Com aquecimento

No caso de os utilizadores aquecerem o interior do edifício, verifica-se que mais uma vez, face ao edifício original, a reabilitação resulta bastante bem sobre o ambiente interior (Figuras 4.22 a 4.26).

Durante a estação de arrefecimento, o comportamento do edifício é o mesmo com e sem aquecimento do ambiente interior. No entanto, observa-se que os picos de temperatura máxima são ligeiramente superiores no caso de o sistema de aquecimento funcionar (Figura 4.26).

Tal acontece pois durante o verão, quando a temperatura interior baixa para valores inferiores a 22°C (normalmente no período noturno) o sistema de aquecimento começa a funcionar, não permitindo que a temperatura interior diminua tanto. Nesse sentido, nas primeiras horas da manhã, quando começam a surgir os primeiros ganhos solares, os compartimentos já apresentam uma temperatura de 22°C, registando de forma mais célere temperaturas mais elevadas.

Na estação de aquecimento os benefícios da reabilitação resultam fundamentalmente na redução das necessidades energéticas (de 162 para 59 kWh/m<sup>2</sup>.ano – uma redução de quase 64%), pois o funcionamento do sistema de aquecimento assegura em qualquer um dos casos a ausência de temperaturas inferiores a 20°C.

A intervenção operada no edifício conduz a menores flutuações térmicas (Figura 4.26) e a um maior conforto térmico, como é possível observar pelo aumento do registo de superiores a 20°C e inferiores a 25°C (Figura 4.26).

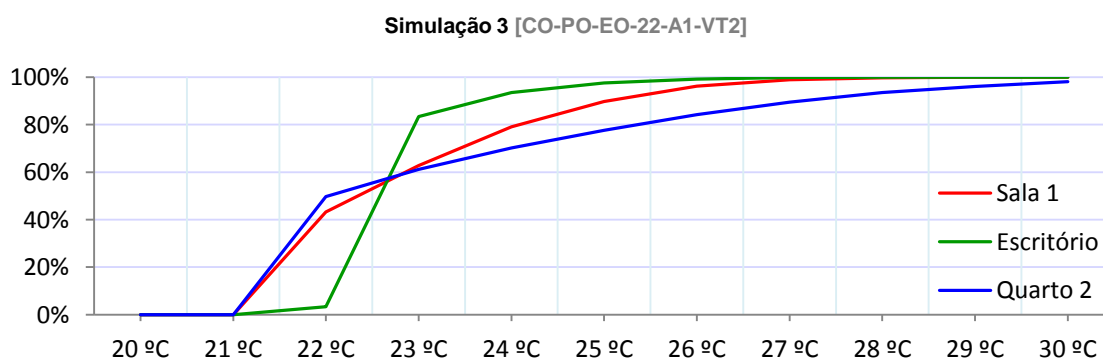


Figura 4.22 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 3

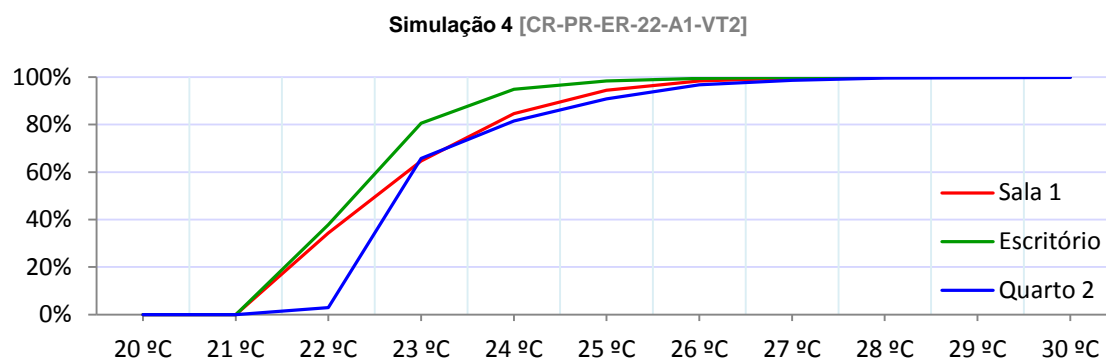


Figura 4.23 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 4

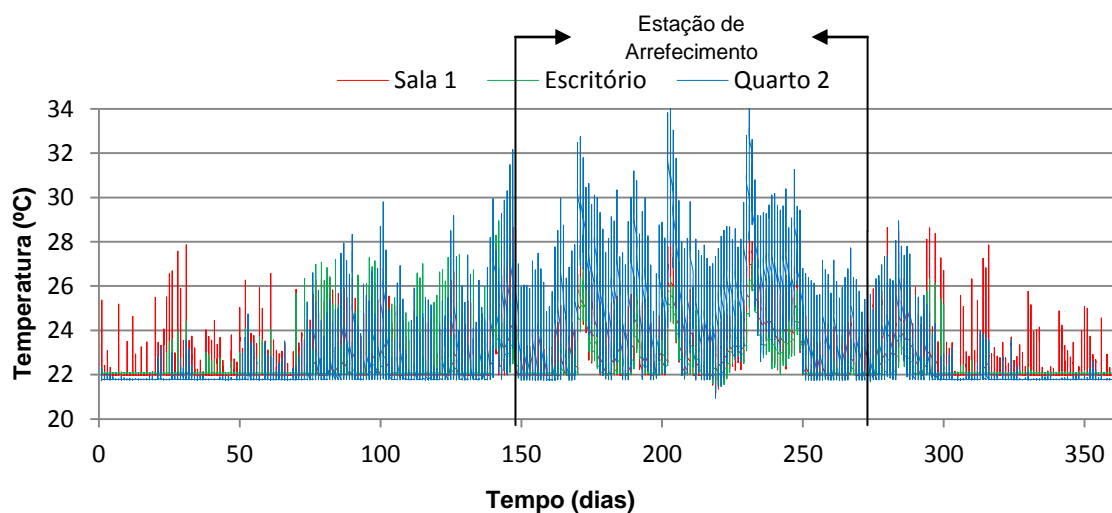


Figura 4.24 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 3

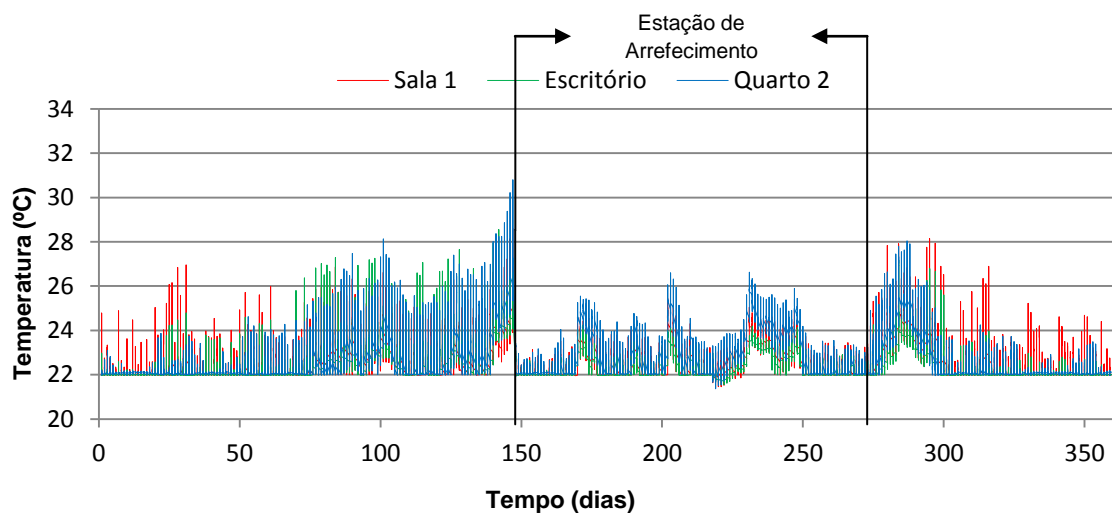


Figura 4.25 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 4

	Simulação 3			Simulação 4		
	CO-PO-EO-22-A1-VT2			CR-PR-ER-22-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20 °C a 25 °C	89,78%	97,61%	77,67%	94,53%	98,33%	90,89%
Mais de 25 °C	10,22%	2,39%	22,33%	5,47%	1,67%	9,11%
T min. (°C) - Inverno	22,0	22,0	21,7	22,0	22,0	22,0
T max. (°C) - Inverno	28,7	28,9	32,2	28,6	28,5	30,1
T mediana (°C)	22,3	22,1	22,0	22,5	22,1	22,3
T min. (°C) - Verão	21,2	21,4	20,9	21,4	21,5	21,4
T max. (°C) - Verão	28,8	27,1	35,0	25,7	24,3	26,6
Desvio Padrão (°C)	1,32	0,81	2,37	1,08	0,78	1,27
Necessidades para Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	162			59		

Figura 4.26 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 3 e 4

Observando a Figura 4.26, constata-se que os picos de temperatura mínima registam-se durante a estação de arrefecimento. Tal acontece pois foi definido para a realização das simulações que o sistema de aquecimento não funcionaria durante o período de férias dos residentes (ponto 4.3.3 – página 58) que corresponde a parte do mês de agosto.

Durante a noite a temperatura diminui para valores inferiores a 22°C, devido à maior ventilação e à ausência de ganhos solares. Não existindo um sistema de aquecimento a funcionar, é natural que a temperatura atinge valores mínimos mais reduzidos.

Quanto à avaliação do edifício após reabilitação pode-se concluir que a intervenção a que o edifício foi sujeito resulta num claro aumento do conforto térmico para qualquer período do ano. Na estação de arrefecimento, as temperaturas diminuem nos três compartimentos, tal como os picos de temperatura máxima e a amplitude térmica. Por exemplo, a temperatura máxima no Quarto 2 passa de 35 para 26,4°C.

Durante a estação de aquecimento, se o ambiente interior não for aquecido, a reabilitação provoca um maior conforto térmico, observando-se menores flutuações térmicas e aumentos em valor nos picos de temperatura mínima (3,1°C para o Quarto 2, por exemplo).

No entanto, se o interior do edifício for aquecido então a reabilitação é bastante proveitosa pois o consumo energético sofre uma redução de 103 kWh/m<sup>2</sup>.ano, ou seja, o consumo energético para aquecimento é reduzido em quase 64%.

#### 4.4.2. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA QUALIDADE TÉRMICA DA COBERTURA

O estudo da influência da variação do nível de qualidade térmica da cobertura é feito ensaiando três níveis para a qualidade térmica da cobertura e para o edifício após reabilitação, estando ou não munido de um sistema de aquecimento interior (Quadro 4.13).

Quadro 4.13 – Simulações realizadas para avaliação da influência da qualidade térmica da cobertura

Simulações Realizadas	
Número	Código
5	CO-PR-ER-0-A1-VT2
6	C1-PR-ER-0-A1-VT2
7	C4-PR-ER-0-A1-VT2
8	CO-PR-ER-22-A1-VT2
9	C1-PR-ER-22-A1-VT2
10	C4-PR-ER-22-A1-VT2

##### 4.4.2.1. Sem Aquecimento

Para a estação de inverno, o reforço da qualidade térmica da cobertura pode resultar num aumento evidente do conforto térmico para os compartimentos do último piso, mas pouco perceptível em compartimentos mais distantes da cobertura.

O reforço do isolamento térmico da cobertura resulta em benefícios mais evidentes para o verão que para o inverno (Figuras 4.27 a 4.33). Embora no inverno se registre um aumento dos picos de temperatura mínima em valor no interior dos compartimentos (2,1°C para o Quarto 2 – do nível PO para P1), a redução dos picos de temperatura máxima é bastante superior (7,1°C para o Quarto 2 – do nível PO para P1).

O disposto no parágrafo anterior pode ser corroborado pelo facto de o reforço do isolamento térmico pela cobertura provocar uma diminuição da ocorrência de temperaturas superiores a 25°C bastante superior ao aumento da ocorrência de temperaturas inferiores a 20°C.

Comparando os resultados dos três compartimentos em estudo (Figura 4.33) constata-se que o reforço do isolamento térmico da cobertura influencia sobretudo os compartimentos imediatamente adjacentes. A redução da temperatura máxima bem como o aumento da temperatura mínima é superior no Quarto 2 (Figura 4.33). Além disso, a ocorrência de temperaturas compreendidas entre os 20 e os 25°C sofre um maior aumento (de PO para P1) para o Quarto 2 (12,93% para o Quarto 2 e 0,63% para a Sala 1 – do nível PO para P1).

Observando os gráficos sobre a evolução da temperatura ao longo do ano e o desvio padrão das temperaturas em cada compartimento (Figura 4.33), verifica-se que o reforço do isolamento térmico pela cobertura provoca menores flutuações térmicas.

Para o edifício reabilitado sem isolamento térmico pela cobertura, a temperatura máxima registada no Quarto 2 vale 33,9°C e no caso de apresentar um isolamento térmico correspondente ao nível C1, 26,8°C. Ou seja, o reforço do isolamento térmico em 8 cm (nível C1) resulta numa diminuição de 7,8°C no pico de temperatura máxima. No entanto, se o edifício possuir um isolamento térmico correspondente ao nível C4 (16cm de espessura) a temperatura máxima registada vale 26,3°C.

Deste modo, o autor constata que para o caso em estudo a aplicação de isolamento térmico para espessuras superiores a 8cm não conduz a ganhos evidentes no conforto térmico.

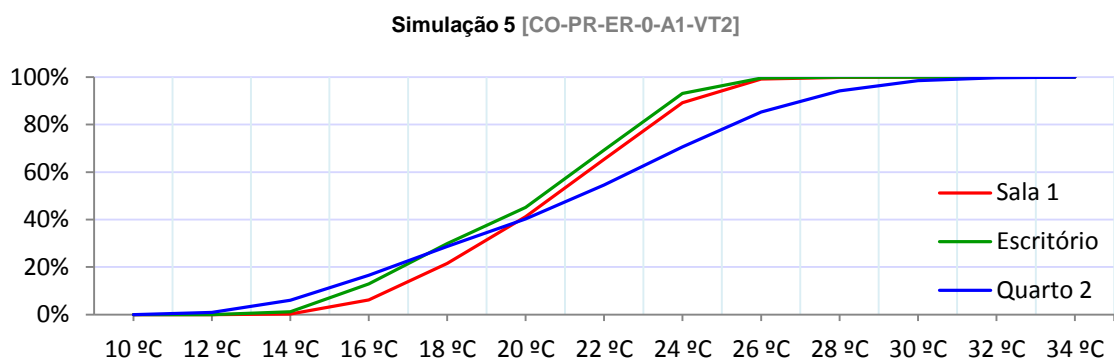


Figura 4.27 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 5

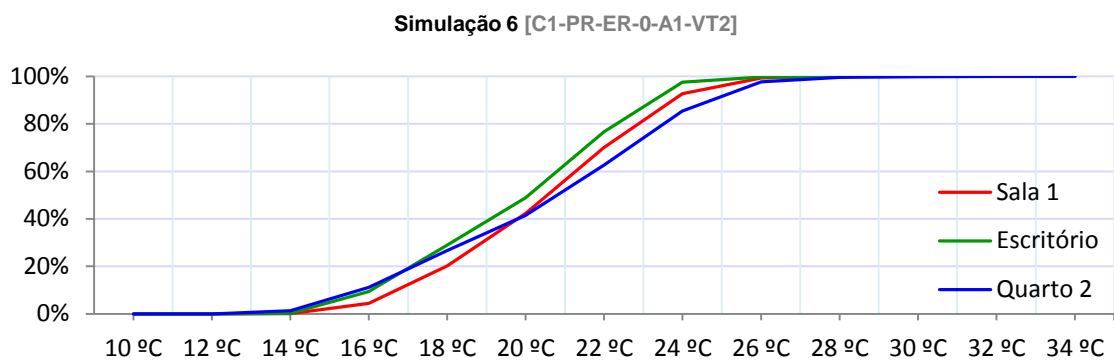


Figura 4.28 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 6

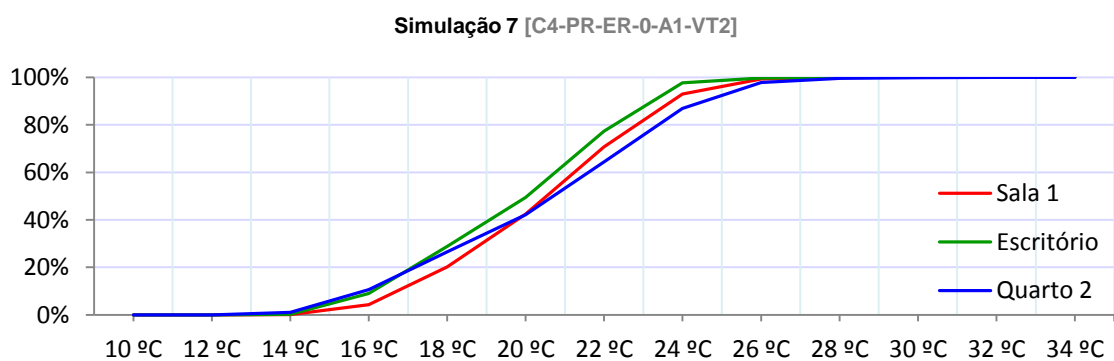


Figura 4.29 – Frequência acumulada das temperaturas observadas no interior dos compartimentos para a simulação 7

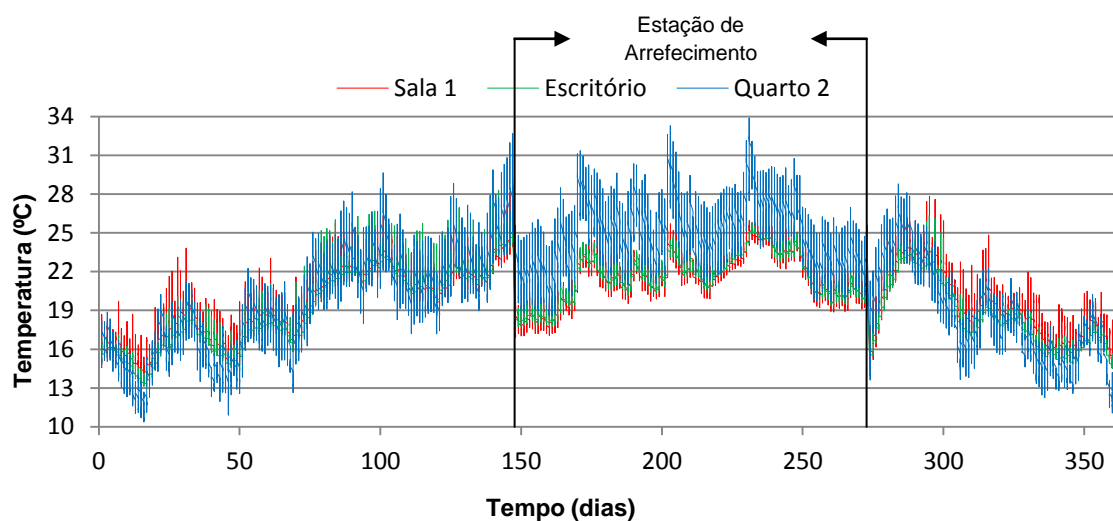


Figura 4.30 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 5

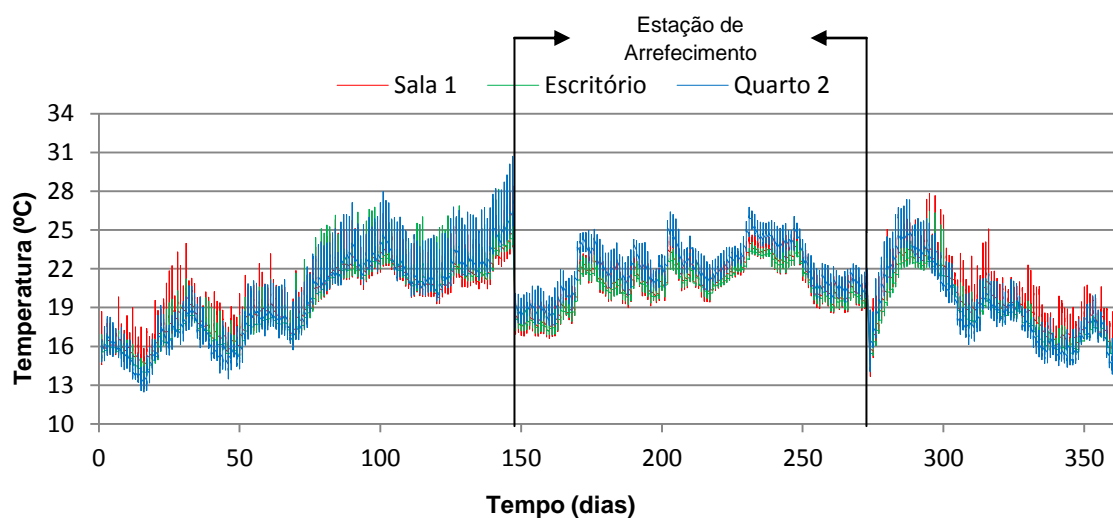


Figura 4.31 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 6

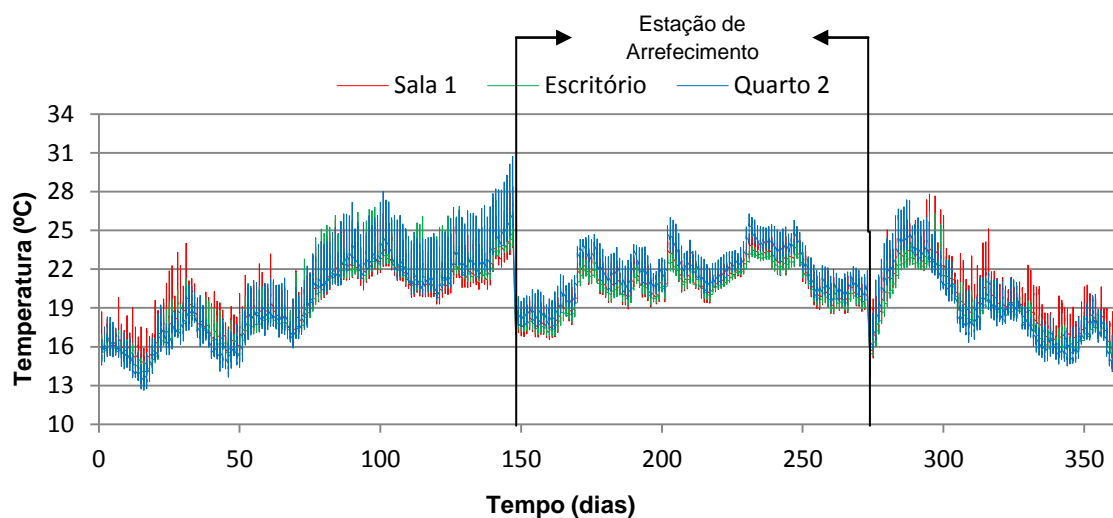


Figura 4.32 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 7



	Simulação 5			Simulação 6			Simulação 7		
	CO-PR-ER-0-A1-VT2			C1-PR-ER-0-A1-VT2			C4-PR-ER-0-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	41,23%	45,18%	40,34%	42,36%	48,94%	41,54%	42,46%	49,45%	42,14%
20 °C a 25 °C	55,02%	53,02%	38,72%	55,65%	50,06%	51,65%	55,57%	49,57%	52,08%
Mais de 25 °C	3,75%	1,80%	20,94%	1,99%	1,00%	6,81%	1,97%	0,98%	5,78%
T min. (°C) - Inverno	13,6	13,1	10,4	13,7	13,7	12,5	13,7	13,8	12,7
T max. (°C) - Inverno	28,7	28,2	32,7	28,4	28,1	30,7	28,4	28,1	30,7
T mediana (°C)	20,8	20,6	21,4	20,6	20,1	20,9	20,6	20,1	20,8
T min. (°C) - Verão	16,9	17,2	17,4	16,6	16,9	17,5	16,6	16,8	17,4
T max. (°C) - Verão	26,0	25,8	33,9	24,9	24,2	26,8	24,8	24,1	26,3
Desvio Padrão (°C)	2,79	2,98	4,54	2,56	2,61	3,26	2,53	2,57	3,17

Figura 4.33 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 5, 6 e 7

Em síntese, são os compartimentos situados imediatamente abaixo da laje de cobertura que registam maiores melhorias com o reforço do isolamento térmico pela cobertura, sendo que para espessuras de isolante térmico superior a 8cm (correspondente ao nível C1) os benefícios para o conforto térmico são menos evidentes.

As flutuações térmicas no interior dos compartimentos passam a ser bem menores ao longo do ano simulado mas é no período de verão que as melhorias no conforto térmico são mais evidentes com os picos de temperatura a descerem de forma considerável (7,6°C no caso do Quarto 2 – do nível PO para P4).

Para a estação de inverno, o reforço do isolamento térmico pela cobertura não provoca um aumento tão expressivo do conforto térmico, embora exista e seja perceptível pela subida ligeira dos picos de temperatura mínima em valor (2,3°C no caso do Quarto 2 – do nível PO para P4) e pelas menores flutuações térmicas nos compartimentos.

Os compartimentos situados no rés do chão e na cave são pouco influenciados pelo reforço do isolamento térmico pela cobertura. No verão regista-se uma diminuição dos picos de temperatura de 1,1 e 1,6°C para a Sala 1 e Escritório (do nível PO para P1), respetivamente. No entanto, no inverno o reforço do isolamento passa praticamente despercebido.

#### 4.4.2.2. Com aquecimento

Na estação de verão é indiferente a presença de um sistema de aquecimento do ambiente interior pelo que as vantagens anteriormente referidas se mantêm: o reforço da cobertura permite uma indiscutível melhoria do conforto térmico principalmente nos compartimentos situados imediatamente abaixo da cobertura. O maior conforto térmico é vincado pelas menores flutuações térmicas no interior dos compartimentos, considerável redução nos picos de temperatura máxima e pela diminuição da ocorrência de temperaturas superiores a 25°C (Figuras 4.34 a 4.37).

No período de inverno, o funcionamento de um sistema de aquecimento implica considerações sobre o consumo energético do edifício para aquecimento, pois a ausência de temperaturas inferiores a 20°C é conseguida pelo funcionamento daquele sistema.

Assim, o aumento da espessura do isolamento térmico conduz a evidentes benefícios energéticos, com uma considerável diminuição do consumo de energia para aquecimento. Face ao edifício reabilitado sem isolamento térmico pela cobertura, constata-se que a aplicação de 8 cm de isolamento térmico (correspondente ao nível C1) permite uma redução de  $34\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$  (de  $94$  para  $60\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ ).

No entanto, o reforço do isolamento térmico do nível C1 para o nível C4 (aumento da espessura do isolante térmico de 8 para 16 cm) não proporciona reduções significativas no consumo energético (apenas  $1\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ ).

Desse modo, o autor entende que o reforço do isolamento térmico para além do nível C1 não gera benefícios relevantes do ponto de vista energético. Na perspetiva do conforto térmico, embora se registre uma redução na ocorrência de temperaturas superiores a  $25^\circ\text{C}$ , também não assume grande expressividade, o que pode ser explicado “*pela ventilação do desvão da cobertura*” [36]

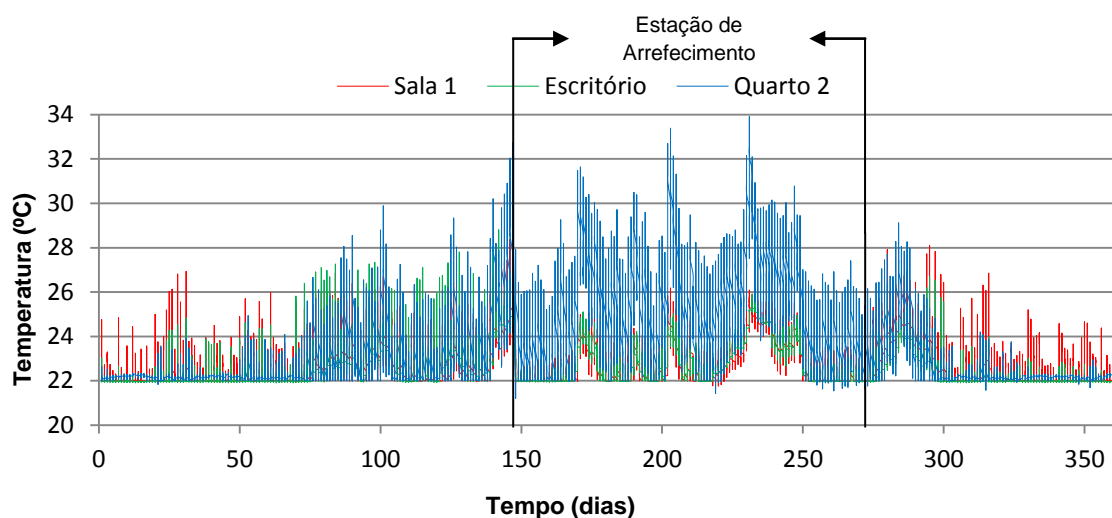


Figura 4.34 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 8

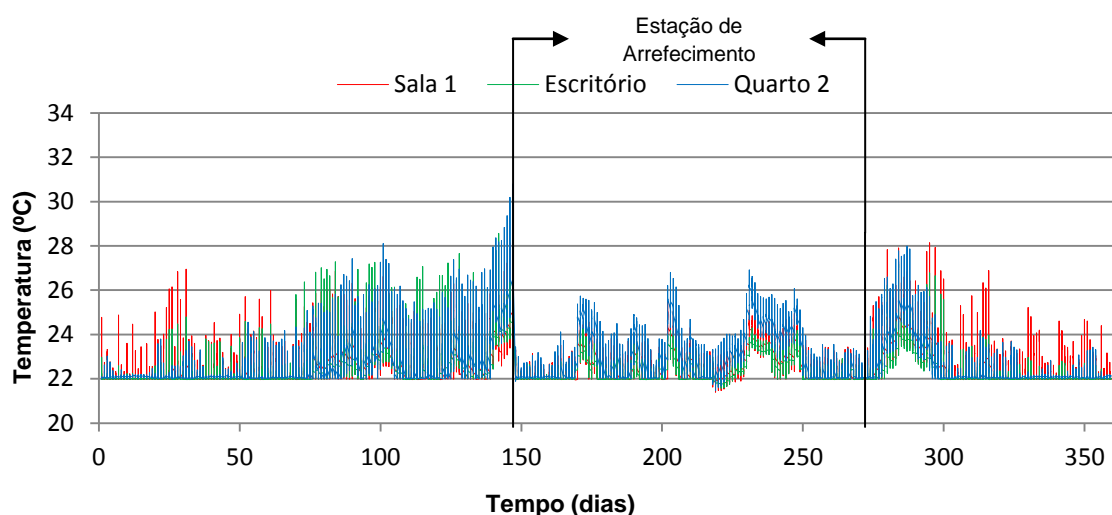


Figura 4.35 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 9

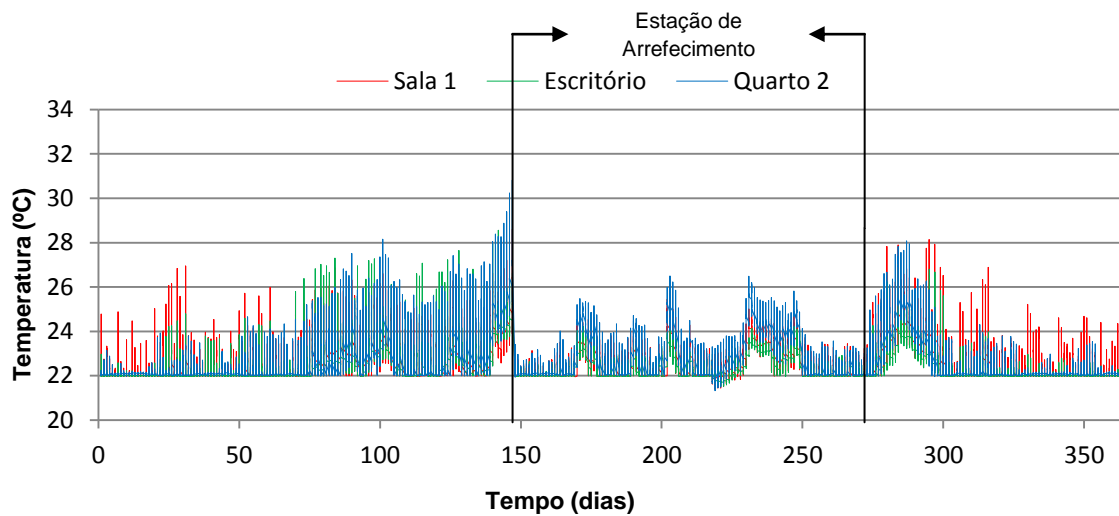


Figura 4.36 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 10

	Simulação 8			Simulação 9			Simulação 10		
	CO-PR-ER-22-A1-VT2			C1-PR-ER-22-A1-VT2			C4-PR-ER-22-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20 °C a 25 °C	92,45%	97,10%	75,18%	94,48%	98,33%	90,18%	94,55%	98,35%	91,24%
Mais de 25 °C	7,55%	2,90%	24,82%	5,52%	1,67%	9,82%	5,45%	1,65%	8,76%
T min. (°C) - Inverno	22,0	21,9	21,6	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
T max. (°C) - Inverno	28,9	28,7	32,7	28,6	28,5	30,8	28,6	28,5	30,8
T mediana (°C)	22,6	22,2	22,5	22,5	22,1	22,3	22,5	22,1	22,3
T min. (°C) - Verão	21,6	21,9	21,2	21,4	21,6	21,5	21,4	21,5	21,3
T max. (°C) - Verão	26,2	25,9	33,9	25,7	24,3	26,9	25,7	24,2	26,5
Desvio Padrão (°C)	1,16	0,94	2,22	1,08	0,79	1,29	1,08	0,78	1,27
Necessidades para Aquecimento (kWh/m².ano)	94			60			59		

Figura 4.37 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 8, 9 e 10

Assim, relativamente à influência da qualidade térmica da cobertura pode-se concluir que o reforço do isolamento térmico pela cobertura permite que no verão exista um maior conforto térmico, graças à diminuição da frequência com que ocorrem temperaturas superiores a 25°C e à atenuação dos picos de temperatura máxima. Embora todos os compartimentos sintam o efeito do incremento do isolamento térmico, são os localizados imediatamente abaixo da cobertura que são mais beneficiados. O Quarto 2 foi o que registou a maior diminuição da temperatura máxima, em 7,6°C.

Para a estação de inverno, não aquecendo o interior do edifício, o reforço do isolamento térmico provoca ligeiras subidas nos picos de temperatura mínima, gerando benefícios para o conforto térmico, embora pouco expressivos.

Por outro lado, considerando o funcionamento de um sistema de aquecimento, o reforço do isolamento térmico permite consideráveis reduções nas necessidades energéticas, com a aplicação de 8 cm de isolante a conduzir a uma poupança de quase 37% face à solução desprovida de isolamento térmico pela cobertura.

Contudo, a adoção de espessuras de isolamento térmico superiores ao nível C1 (correspondente a 8cm) não retiram benefícios muito significativos do ponto de vista energético e do conforto térmico.

#### 4.4.3. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA QUALIDADE TÉRMICA DAS PAREDES EXTERIORES

Neste ponto pretende-se perceber se o aumento da qualidade térmica das paredes principais pelo lado exterior afeta de modo positivo ou negativo o desempenho térmico do edifício.

Assim, foram realizadas várias simulações (Quadro 4.14) para normais condições de funcionamento, fazendo variar o nível de qualidade térmica das paredes exteriores, com e sem aquecimento do ambiente interior:

Quadro 4.14 – Simulações realizadas para avaliação da influência da qualidade térmica das paredes exteriores

Simulações Realizadas	
Número	Código
11	CR-PO-ER-0-A1-VT2
12	CR-P1-E-ER-0-A1-VT2
13	CR-P4-E-ER-0-A1-VT2
14	CR-PO-ER-22-A1-VT2
15	CR-P1-E-ER-22-A1-VT2
16	CR-P4-E-ER-22-A1-VT2

##### 4.4.3.1. Sem Aquecimento

Os resultados das simulações 11, 12 e 13 (Figura 4.41) indicam que o reforço do isolamento térmico das paredes principais conduz a um aumento da ocorrência de temperaturas compreendidas no intervalo (20°C a 25°C) e por isso a um maior conforto térmico. O Escritório é o compartimento que regista o maior aumento desse período, com a passagem do nível PO para P4 a resultar num aumento daquele período em 17,19% (correspondendo a cerca de 1.506 horas num ano).

Focando a análise em cada uma das estações climáticas, para o inverno, verifica-se que o reforço do isolamento térmico pelas paredes exteriores resulta num ligeiro aumento em valor do pico das temperaturas mínimas. Por exemplo, face ao edifício reabilitado sem isolamento térmico, a aplicação de 5,5cm de EPS resulta na subida da temperatura mínima registada na Sala 1 de 12,3°C para 13,7°C (do nível PO para P1).

Além disso, a frequência com que se registam temperaturas inferiores a 20°C é diminuída consideravelmente. Por exemplo, para a Sala 1, a frequência com que ocorrem temperaturas inferiores a 20°C é diminuída em 16,88% com a aplicação de 5,5cm de isolamento térmico sobre as paredes exteriores (do nível PO para P1). O autor depreende que o reforço do isolamento térmico permite uma maior conservação dos ganhos solares e internos, resultando num maior conforto térmico.

Relativamente ao verão, o reforço do isolamento térmico conduz a uma ligeira diminuição nos picos de temperatura máxima (0,7°C para a Sala 1 – Figura 4.41). No entanto, observando os gráficos com a evolução da temperatura para o ano simulado, verifica-se que o aumento do isolamento térmico provoca uma subida geral das temperaturas para aquele período (Figuras 4.38 a 4.40).

A subida da temperatura durante o verão acontece devido à melhor conservação do calor resultante dos ganhos internos e principalmente os solares que neste período assumem maior relevância. O Quarto 2, o compartimento mais vulnerável ao sobreaquecimento, é aquele que regista o maior aumento da temperatura (Figuras 4.38 a 4.40) e o maior aumento da frequência com que ocorrem temperaturas superiores a 25°C (Figura 4.41)

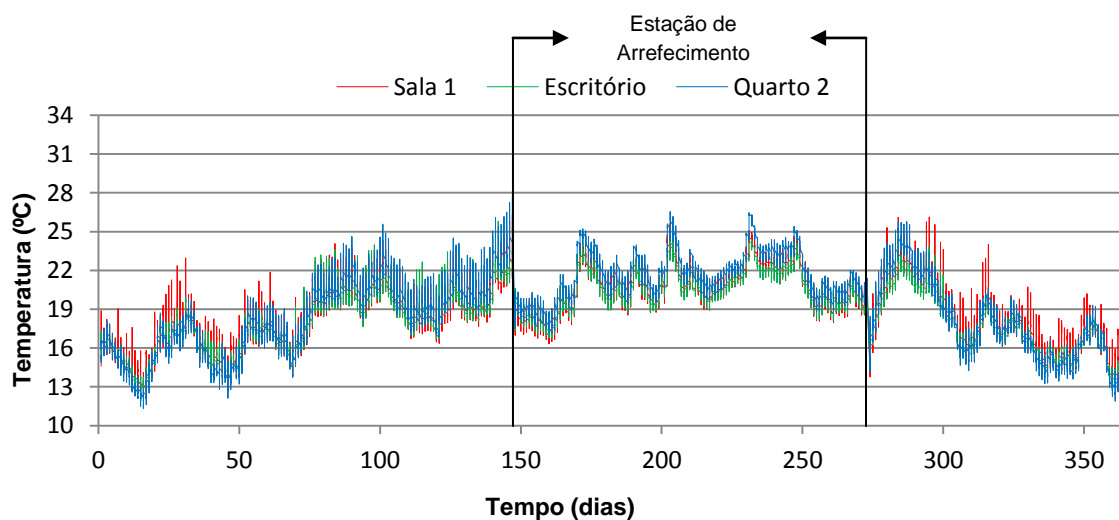


Figura 4.38 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 11

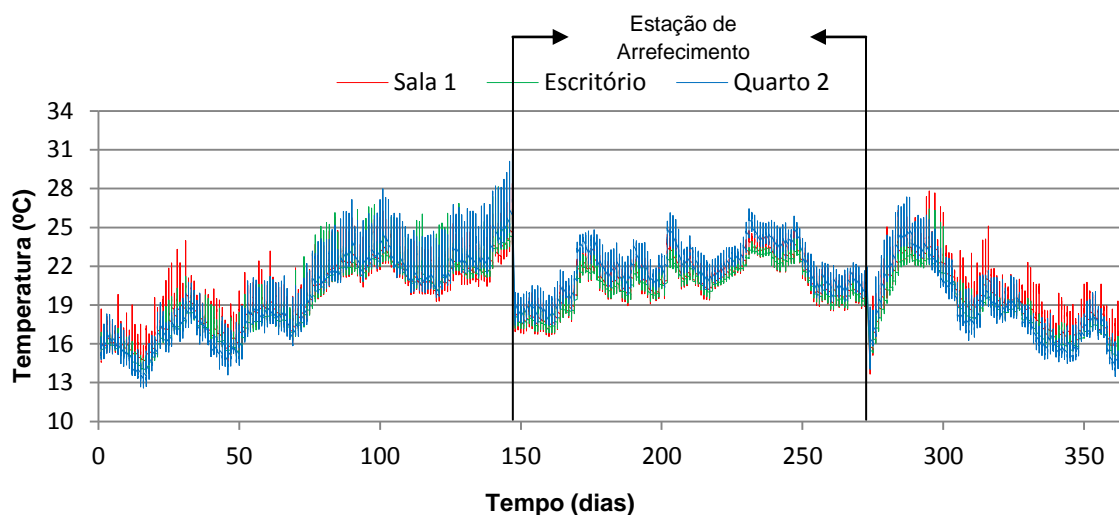


Figura 4.39 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 12

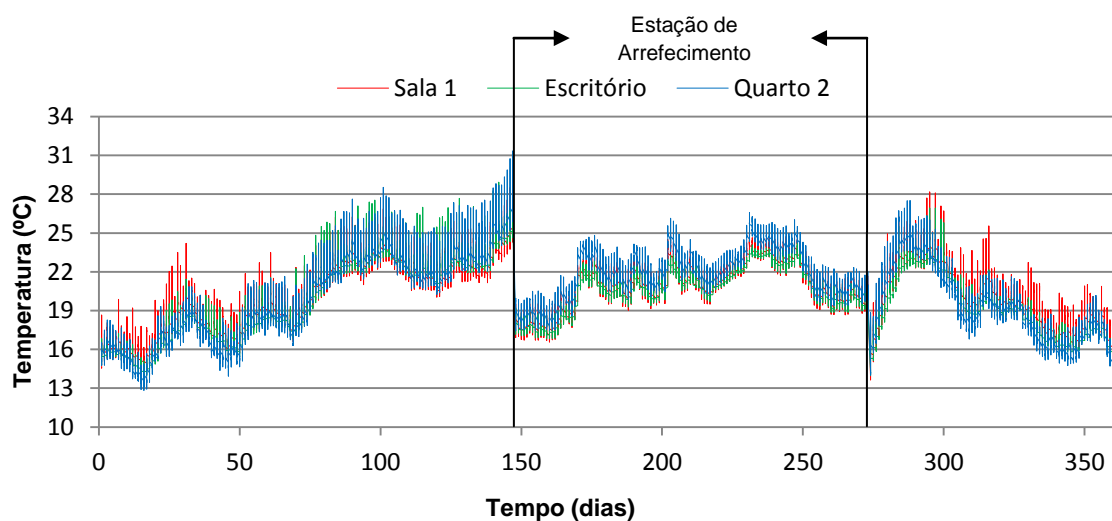


Figura 4.40 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 13

	Simulação 11			Simulação 12			Simulação 13		
	CR-PO-ER-0-A1-VT2			CR-P1-ER-0-A1-VT2			CR-P4-E-ER-0-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	57,43%	66,11%	52,44%	42,43%	49,23%	41,92%	39,40%	47,06%	40,59%
20 °C a 25 °C	42,20%	33,87%	45,32%	55,58%	49,77%	52,01%	57,18%	51,06%	51,31%
Mais de 25 °C	0,37%	0,02%	2,24%	1,99%	1,00%	6,07%	3,42%	1,88%	8,10%
T min. (°C) - Inverno	12,3	12,5	11,4	13,7	13,7	12,6	13,7	14,0	12,8
T max. (°C) - Inverno	26,3	25,8	27,8	28,4	28,1	30,7	29,0	28,9	31,3
T mediana (°C)	19,5	19,0	19,8	20,6	20,1	20,8	20,9	20,3	21,1
T min. (°C) - Verão	16,3	16,8	17,2	16,6	16,9	17,5	16,6	16,8	17,4
T max. (°C) - Verão	25,6	24,4	26,5	24,9	24,2	26,4	25,0	24,3	26,6
Desvio Padrão (°C)	2,65	2,49	3,17	2,54	2,58	3,20	2,59	2,69	3,24

Figura 4.41 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 11, 12 e 13

Sintetizando, sem aquecer o ambiente interior, o reforço do isolamento térmico pelas paredes exteriores proporciona um maior conforto térmico na estação de inverno para os três compartimentos em estudo.

Observa-se uma diminuição na ocorrência de temperaturas inferiores a 20°C (19,05% para o Escritório – do nível PO para P4) devido à melhor conservação do calor resultante dos ganhos internos e solares. Os benefícios inerentes ao aumento da qualidade térmica de P1 para P4 (5,5cm para 11,5cm) são pouco expressivos.

Na estação de arrefecimento, o reforço do isolamento térmico provoca um aumento da temperatura no interior dos compartimentos, podendo gerar um maior desconforto em compartimentos mais vulneráveis ao sobreaquecimento, como o Quarto 2, por exemplo. Assim, o aumento do isolamento térmico pelas paredes principais influencia de modo mais determinante a estação de inverno.

#### 4.4.3.2. Com Aquecimento

Observando as Figuras 4.43 a 4.45, verifica-se que a temperatura no interior dos compartimentos tem tendência a aumentar com o reforço do isolamento devido à melhor conservação dos ganhos internos e solares, tal como foi referido no ponto anterior.

Para a estação de inverno, visualizando a Figura 4.42, constata-se que o aumento do isolamento térmico das paredes resulta em grandes benefícios para o consumo energético, implicando menores necessidades de aquecimento.

Face ao edifício reabilitado sem isolamento térmico nas paredes, a aplicação de 5,5cm de EPS pelo exterior resulta numa poupança de 64kWh/m<sup>2</sup>.ano, ou seja, uma poupança anual de quase 53% (Figura 4.42).

O reforço do isolamento térmico até ao nível P4 volta a resultar em evidentes benefícios energéticos, no entanto, não tão expressivos: do nível P1 para P4 consegue-se uma redução de 9kWh/m<sup>2</sup>.ano (Figura 4.42).

	Simulação 14			Simulação 15			Simulação 16		
	CR-PO-ER-22-A1-VT2			CR-P1-ER-22-A1-VT2			CR-P4-E-ER-22-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20 °C a 25 °C	98,43%	99,82%	96,84%	94,53%	98,33%	90,89%	92,35%	97,08%	88,60%
Mais de 25 °C	1,57%	0,18%	3,16%	5,47%	1,67%	9,11%	7,65%	2,92%	11,40%
T min. (°C) - Inverno	22,0	22,0	21,4	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
T max. (°C) - Inverno	26,9	26,5	27,9	28,6	28,5	30,1	29,1	29,1	31,4
T mediana (°C)	22,0	22,1	21,6	22,5	22,1	22,3	22,6	22,3	22,4
T min. (°C) - Verão	20,6	20,2	20,8	21,4	21,5	21,4	21,5	21,8	21,5
T max. (°C) - Verão	26,2	24,9	26,8	25,7	24,3	26,6	25,7	24,4	26,8
Desvio Padrão (°C)	0,81	0,45	1,03	1,08	0,78	1,27	1,18	0,94	1,39
Necessidades para Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	123			59			50		

Figura 4.42 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 14, 15 e 16

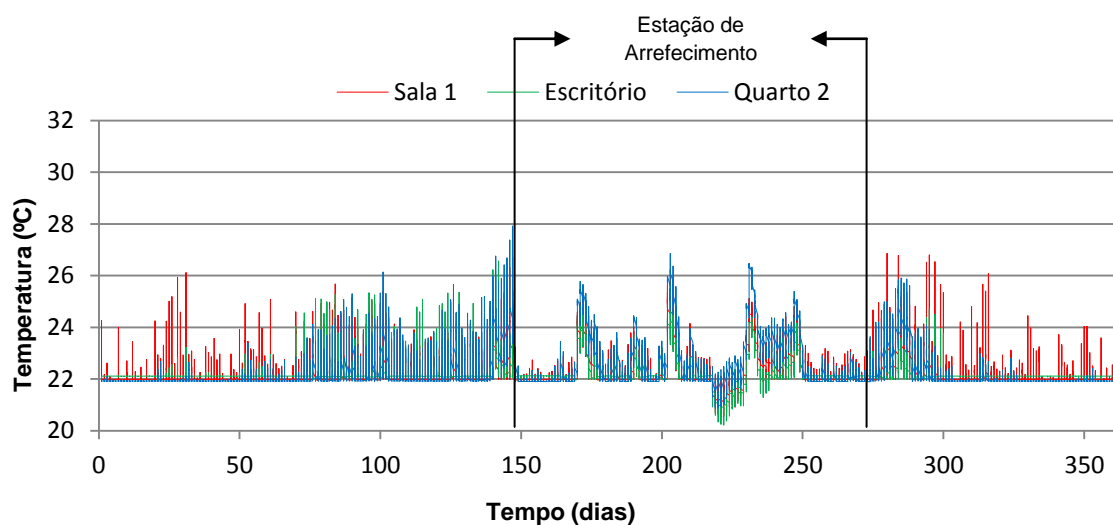


Figura 4.43 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 14

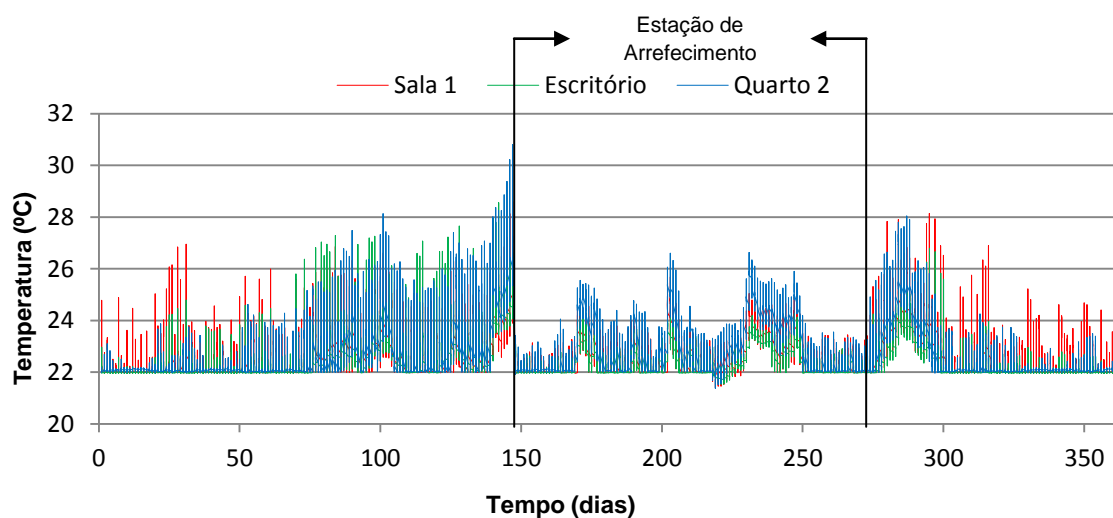


Figura 4.44 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 15

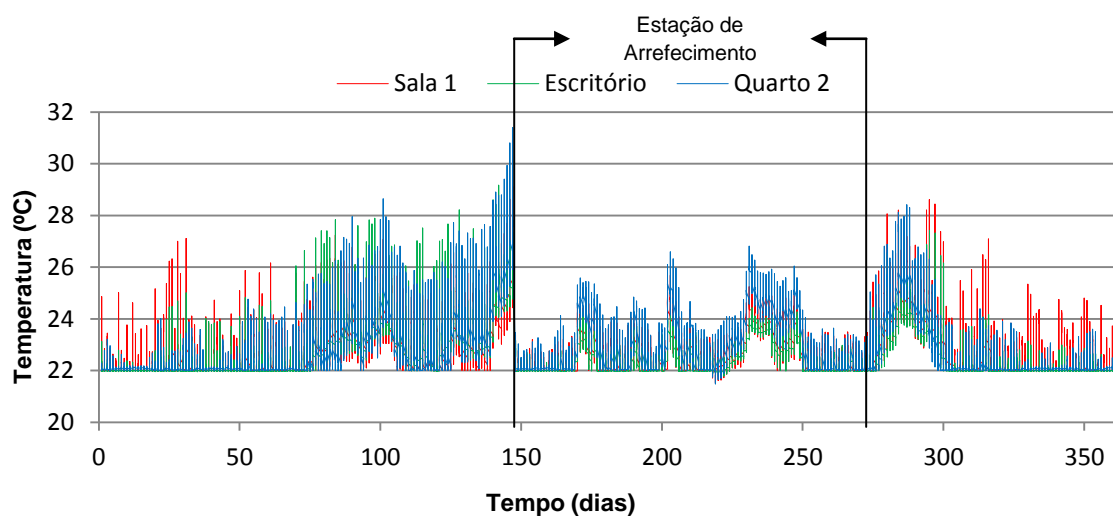


Figura 4.45 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 16



Assim, relativamente à avaliação da influência da qualidade térmica das paredes exteriores poderá concluir-se que o reforço do isolamento térmico para a estação de verão possibilita uma ligeira redução dos picos de temperatura máxima para os compartimentos em estudo, nunca superior a 0,7°C, embora a temperatura aumente ligeiramente em todo esse período.

Para a estação de inverno, o aumento da qualidade térmica das paredes exteriores conduz a um inegável aumento do conforto térmico. Verifica-se uma menor ocorrência de temperaturas inferiores a 20°C (uma redução de 19,05% para o Escritório – do nível PO para P4) e um aumento dos picos de temperatura mínima em valor (1,5°C para o Escritório – do nível PO para P4). Os benefícios inerentes ao aumento da qualidade térmica de P1 para P4 (5,5cm para 11,5cm) são pouco expressivos.

Aquecendo o ambiente interior para aquele período do ano, as vantagens do reforço do isolamento térmico são bem evidentes. A aplicação de 5,5cm de EPS pelo exterior conduz a uma diminuição das necessidades energéticas para aquecimento de quase 53%. O reforço do isolamento térmico até ao nível P4 conduz a uma maior poupança energética, no entanto, não tão expressiva como a verificada até ao nível P1.

#### 4.4.4. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO DO ISOLANTE TÉRMICO NAS PAREDES EXTERIORES

O reforço do isolamento térmico pode ser feito pelo exterior ou pelo interior. Com o objetivo de determinar a forma mais proveitosa de o dispor, é definido um conjunto de simulações que permitem ensaiar a localização pelo interior para várias espessuras e climatizações do interior (Quadro 4.15).

Estas simulações são comparadas às já realizadas com o isolante térmico pelo exterior em 4.4.3, nomeadamente, com a 12 e 15.

Quadro 4.15 – Simulações realizadas para avaliação da influência localização do isolante térmico nas paredes exteriores

Simulações Realizadas	
Número	Código
17	CR-P1-I-ER-0-A1-VT2
18	CR-P1-I-ER-22-A1-VT2

##### 4.4.4.1. Sem aquecimento

Analisando o posicionamento do isolamento térmico para o nível de qualidade térmica mais baixo (P1), verifica-se que a localização pelo exterior é bastante mais vantajosa que pelo interior.

Na estação de verão, a localização pelo exterior conduz a picos de temperatura máxima mais reduzidos. O Escritório, por exemplo, regista uma diferença de 1,6 °C (25,8°C pelo interior para 24,2°C pelo exterior – Figura 4.47).

O risco de sobreaquecimento é também mais reduzido, como é possível verificar pela diminuição da ocorrência de temperaturas superiores a 25°C para o Quarto 2, nomeadamente em 3,96% (de 10,03% pelo interior para 6,07% pelo exterior – Figura 4.47).

Para o inverno, verifica-se que a ocorrência de temperaturas inferiores a 20°C é ligeiramente menor nos três compartimentos para a localização do isolamento pelo exterior. No entanto é nos picos de temperatura mínima e nas flutuações térmicas que se podem observar benefícios mais evidentes: os picos de temperatura mínima são mais elevados em valor, com o Escritório a registar uma diferença de 1°C (11,7 para 12,7°C), e as flutuações térmicas são muito superiores para a localização do isolamento térmico pelo interior (comparar Figura 4.46 com 4.39 da página 75).

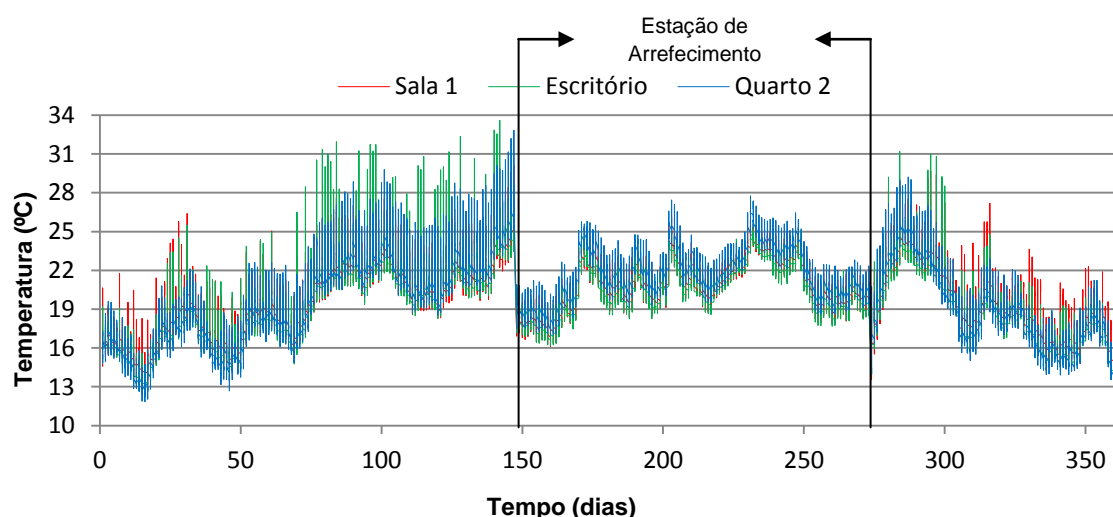


Figura 4.46 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 17

	Simulação 17			Simulação 12		
	CR-P1-I-ER-0-A1-VT2			CR-P1-ER-0-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	42,51%	50,17%	42,31%	42,43%	49,23%	41,92%
20 °C a 25 °C	52,17%	46,59%	47,66%	55,58%	49,77%	52,01%
Mais de 25 °C	5,32%	3,24%	10,03%	1,99%	1,00%	6,07%
T min. (°C) - Inverno	13,1	12,7	11,9	13,7	13,7	12,6
T max. (°C) - Inverno	30,1	33,4	32,8	28,4	28,1	30,7
T mediana (°C)	20,6	20,0	20,8	20,6	20,1	20,8
T min. (°C) - Verão	16,1	16,2	17,0	16,6	16,9	17,5
T max. (°C) - Verão	26,2	25,8	27,8	24,9	24,2	26,4
Desvio Padrão (°C)	2,86	2,99	3,49	2,54	2,58	3,20

Figura 4.47 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 17 e 12

Sintetizando, a localização pelo exterior proporciona um maior conforto térmico ao longo de todo o ano simulado, observando-se menores flutuações térmicas fruto da maior inércia térmica.

Na estação de inverno os picos de temperatura mínima são ligeiramente maiores (até 1°C de diferença) e a ocorrência de temperaturas inferiores a 20°C é ligeiramente menor. No verão, os picos de temperatura máxima são diminuídos, registando-se uma diferença máxima de 1,6°C para o Escritório.

#### 4.4.4.2. Com aquecimento

Considerando o aquecimento do ambiente interior, constata-se que mais uma vez o reforço do isolamento térmico pelo exterior é mais vantajoso que pelo interior, estando associado a menores necessidades térmicas, menores amplitudes térmicas e picos de temperatura máxima mais reduzidos.

Durante a estação de verão, a localização pelo exterior proporciona um maior conforto térmico, percebido pelos picos de temperatura máxima ligeiramente mais reduzidos, uma diferença que oscila entre os 1,1°C e os 1,6°C, dependendo do compartimento (Figura 4.49).

No inverno, com as temperaturas superiores a 20°C a serem asseguradas pelo sistema de aquecimento, verifica-se que a localização do isolamento térmico pelo exterior resulta numa redução das necessidades energéticas para aquecimento, embora pouco significativa: 4kWh/m<sup>2</sup>.ano (correspondendo a quase 7%).

Embora o coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores seja semelhante, a localização do isolante térmico pelo exterior permite que durante o dia os ganhos internos e solares sejam armazenados no elemento de maior massa para que depois, quando a temperatura interior cair, o calor ser devolvido, reduzindo as necessidades energéticas para aquecimento.

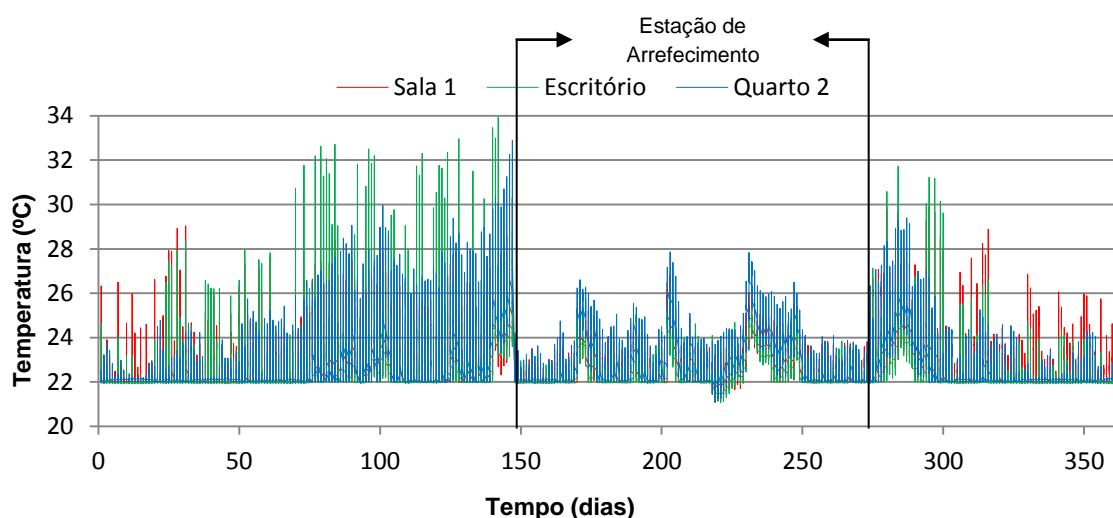


Figura 4.48 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 18

	Simulação 18			Simulação 15		
	CR-P1-I-ER-22-A1-VT2			CR-P1-I-ER-22-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20 °C a 25 °C	89,23%	94,53%	87,32%	94,53%	98,33%	90,89%
Mais de 25 °C	10,77%	5,47%	12,68%	5,47%	1,67%	9,11%
T min. (°C) - Inverno	22,0	21,9	22,0	22,0	22,0	22,0
T max. (°C) - Inverno	30,3	33,8	32,9	28,6	28,5	30,1
T mediana (°C)	22,6	22,0	22,2	22,5	22,1	22,3
T min. (°C) - Verão	21,1	21,1	21,1	21,4	21,5	21,4
T max. (°C) - Verão	26,8	25,9	27,9	25,7	24,3	26,6
Desvio Padrão (°C)	1,38	1,27	1,56	1,08	0,78	1,27
Necessidades para Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	63			59		

Figura 4.49 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 18 e 15

Assim, quanto à posição do isolante térmico conclui-se que a colocação pelo exterior é mais favorável ao desempenho térmico do edifício.

No verão, o risco de sobreaquecimento é mais reduzido, pois os picos de temperatura máxima são ligeiramente diminuídos, com reduções até 1,6°C, e a ocorrência de temperaturas superiores a 25°C é também ligeiramente diminuída, principalmente no Quarto 2.

No inverno, sem aquecimento, os compartimentos são alvo de um maior conforto térmico, com os picos de temperatura mínima a subirem ligeiramente (até 1°C no caso do Escritório) e a ocorrência de temperaturas inferiores a 20°C a diminuir entre 0,08 e 0,94%.

Considerando a existência de um sistema de aquecimento, verifica-se que o consumo energético é mais reduzido com o isolante térmico pelo exterior, embora se trate de uma diferença com pouco significado: 4kWh/m<sup>2</sup>.ano.

#### 4.4.5. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA QUALIDADE TÉRMICA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

O estudo da influência da qualidade térmica dos vãos envidraçados será feito para o edifício reabilitado, durante uma utilização comum e em função da sua climatização (Quadro 4.16).

Quadro 4.16 – Simulações realizadas para avaliação da influência da qualidade térmica dos vãos envidraçados

Simulações Realizadas	
Número	Código
19	CR-PR-E1-0-A1-VT2
20	CR-PR-E2-0-A1-VT2
21	CR-PR-E3-0-A1-VT2
22	CR-PR-E1-22-A1-VT2
23	CR-PR-E2-22-A1-VT2
24	CR-PR-E3-22-A1-V2

##### 4.4.5.1. Sem aquecimento

Analisando todo o período simulado, o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados do nível E1 para o nível E3 conduz sempre a um aumento do conforto térmico no interior dos compartimentos.

Para a estação de inverno, o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados conduz a uma subida dos picos de temperatura mínima como também dos picos de temperatura máxima. Tal acontece pois independentemente do nível de qualidade térmica, o fator solar de inverno é idêntico para os três níveis.

Desse modo, o aumento da qualidade térmica conduz apenas à diminuição do coeficiente de transmissão térmica, permitindo uma melhor conservação dos ganhos internos e solares. Naturalmente, que a maior conservação de calor no interior dos compartimentos provocará um aumento geral da temperatura.

Posto o referido nos dois últimos parágrafos, o aumento da qualidade térmica provoca um aumento das temperaturas mínimas registadas no inverno até 1°C, em função do compartimento, e um aumento das temperaturas máximas registadas até 0,7°C (do nível E1 para E2 – Figura 4.53). Com o aumento de E1 para E2 aumenta a ocorrência de temperaturas compreendidas entre 20 e 25°C.

No verão o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados conduz também a um maior conforto térmico devido à diminuição do risco de sobreaquecimento. Com o aumento do nível de qualidade, não só o coeficiente de transmissão térmica é diminuído, como também o fator solar (de verão).

Assim, os ganhos solares são mais reduzidos, permitindo uma diminuição acentuada dos picos de temperatura máxima no interior dos compartimentos em estudo. Por exemplo, o Quarto 2 regista uma diminuição da temperatura máxima de 7,4°C (do nível E1 para E3 – Figura 4.53).

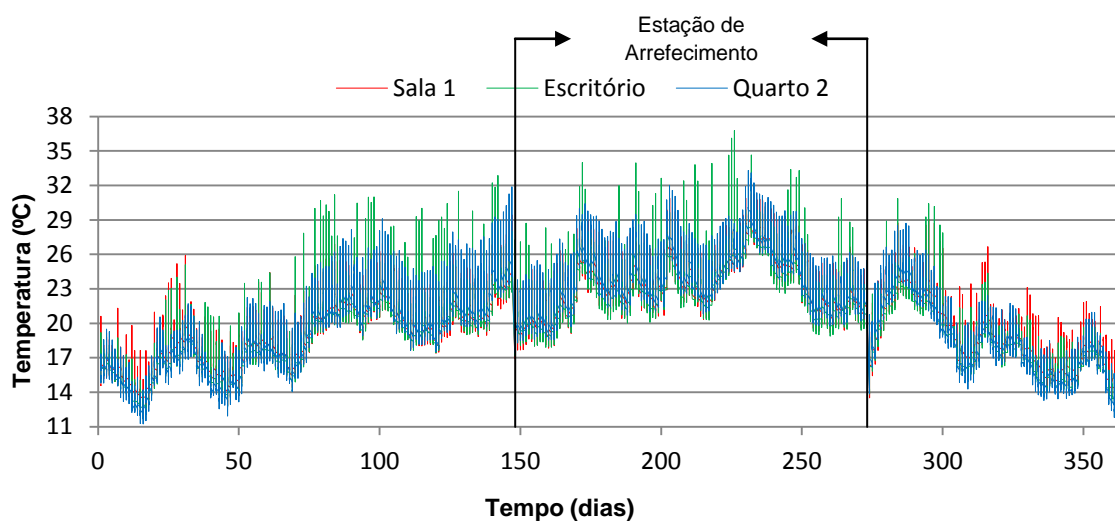


Figura 4.50 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 19

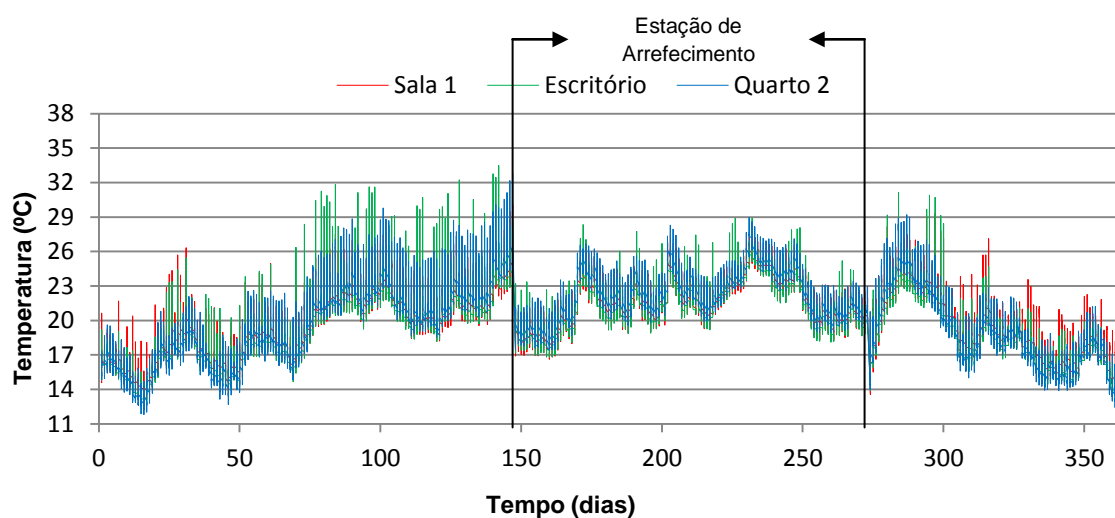


Figura 4.51 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 20

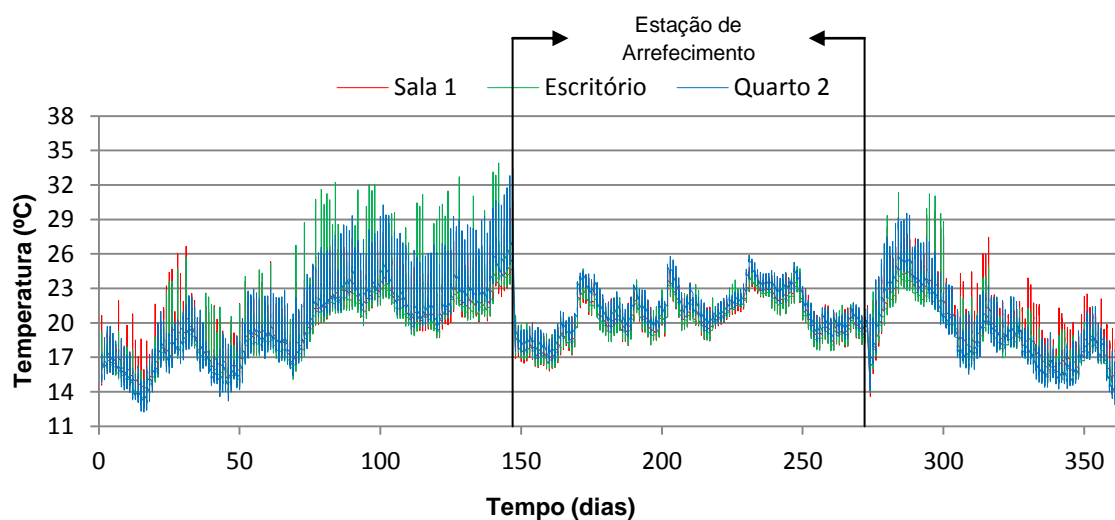


Figura 4.52 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 21

	Simulação 19			Simulação 20			Simulação 21		
	CR-PR-E1-0-A1-VT2			CR-PR-E2-0-A1-VT2			CR-PR-E3-0-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	39,65%	44,70%	41,29%	39,85%	45,91%	40,61%	43,12%	50,42%	43,68%
20 °C a 25 °C	43,67%	41,09%	38,56%	52,01%	48,11%	46,92%	51,03%	45,96%	47,61%
Mais de 25 °C	16,68%	14,21%	20,15%	8,14%	5,98%	12,47%	5,85%	3,62%	8,71%
T min. (°C) - Inverno	12,5	12,2	11,2	13,1	12,6	11,8	13,5	13,0	12,2
T max. (°C) - Inverno	29,4	32,7	31,9	30,1	33,3	32,8	30,5	33,8	33,5
T mediana (°C)	21,1	20,6	21,1	20,9	20,4	21,0	20,5	20,0	20,5
T min. (°C) - Verão	16,9	17,2	17,5	16,6	16,8	17,4	15,8	16,0	16,6
T max. (°C) - Verão	31,9	36,7	33,3	27,7	28,9	29,0	25,3	25,1	25,9
Desvio Padrão (°C)	3,75	3,95	4,35	3,04	3,21	3,62	2,81	2,94	3,35

Figura 4.53 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 19, 20 e 21

Observando as Figuras 4.50 a 4.53 constata-se que o reforço da qualidade térmica dos vãos envidraçados provoca um estreitamento/compactação nos valores de temperatura registados para o ano simulado.

Esse fenómeno deve-se como já foi referido à redução das flutuações térmicas no interior dos compartimentos, o que acontece com naturalidade pois considerando que a envolvente opaca do edifício está relativamente bem isolada do ponto de vista térmico, a subida do nível de qualidade diminui o coeficiente de transmissão térmica e o fator solar (apenas no verão). A redução destes dois parâmetros conduz a uma menor passagem do calor pelo envidraçado, reduzindo as perdas térmicas, e também a uma menor entrada de radiação solar do exterior (no verão), evitando ganhos em excesso. Assim, para o ano simulado, as temperaturas inferiores aumentam e as superiores diminuem.

Mais uma vez, o Quarto 2 é o compartimento com maior risco de sobreaquecimento. Nas três simulações é o compartimento que apresenta a maior ocorrência de temperaturas superiores a 25°C (Figura 4.53).

Para o autor, tal acontece pois situa-se no último piso, delimitado por uma superfície horizontal (laje de cobertura) que na estação de arrefecimento é aquela que mais radiação solar recebe. Além disso, apesar de possuir menores ganhos solares brutos que a Sala 1, tem um volume interior bastante inferior pelo que a relação entre os ganhos solares brutos e o volume interior do compartimento é mais desfavorável ao Quarto 2, como está ilustrado no Quadro 4.17.

Quadro 4.17 – Ganhos solares brutos para a simulação 19

Compartimento	Ganhos Solares Brutos (kWh)	Volume (m <sup>3</sup> )	kWh/m <sup>3</sup>	Área Total de Envidraçado (m <sup>2</sup> )	Piso
Sala 1	4.561	79,65	57,3	9,31	R/C
Escritório	1.341	30,96	43,3	2,85	1
Quarto 2	2.506	38,87	64,5	6,98	2

Em síntese, o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados resulta num aumento inquestionável do conforto térmico durante a estação de arrefecimento. O risco de sobreaquecimento é bastante diminuído com a adoção dos envidraçados de qualidade térmica E3: a ocorrência de temperaturas superiores a 25°C é diminuída (11,44% para o Quarto 2) como também se verifica uma redução dos picos de temperatura máxima em 6,6, 11,6 e 7,4°C para a Sala 1, Escritório e Quarto 2, respetivamente. No inverno observa-se um aumento geral da temperatura, refletido pela subida dos picos de temperatura mínima em 1, 0,8 e 1°C para a Sala 1, Escritório e Quarto 2, respetivamente.

#### 4.4.5.2. Com Aquecimento

Com o aumento da qualidade térmica do vão envidraçado continua a verificar-se um aumento do conforto térmico na estação de verão. Os picos de temperatura máxima são bastante diminuídos nos três compartimentos com o aumento do nível E1 para E3: 4, 7,8 e 6,9°C para a Sala 1, Escritório e Quarto 2, respetivamente (Figura 4.57).

Observando as Figuras 4.54 a 4.57 verifica-se que os valores de temperatura registados para o ano simulado demonstram uma menor dispersão quanto melhor for a qualidade do envidraçado. As flutuações térmicas no interior dos compartimentos são por isso menores, como pode ser observado pela diminuição do desvio padrão da temperatura com o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados (de E1 para E3).

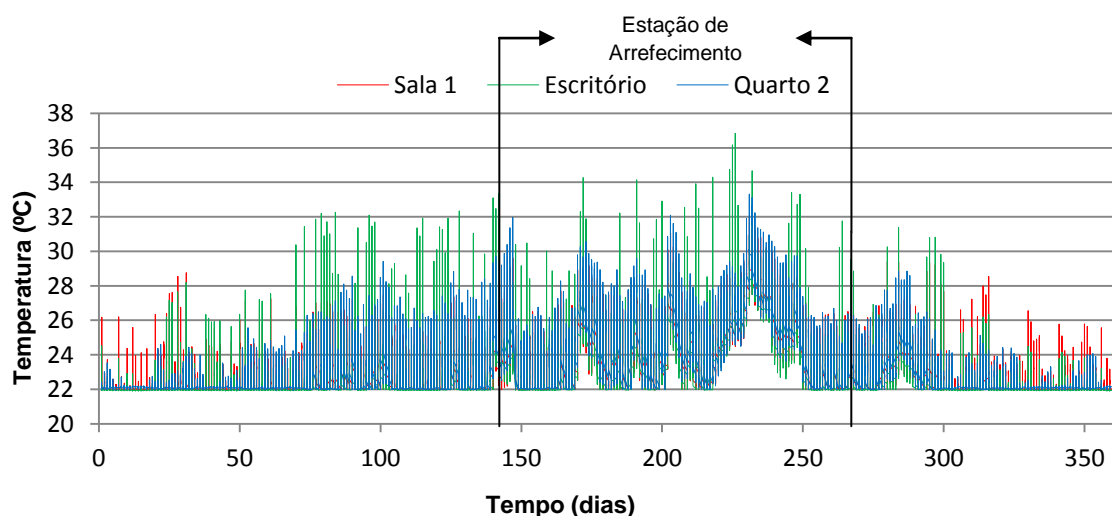


Figura 4.54 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 22



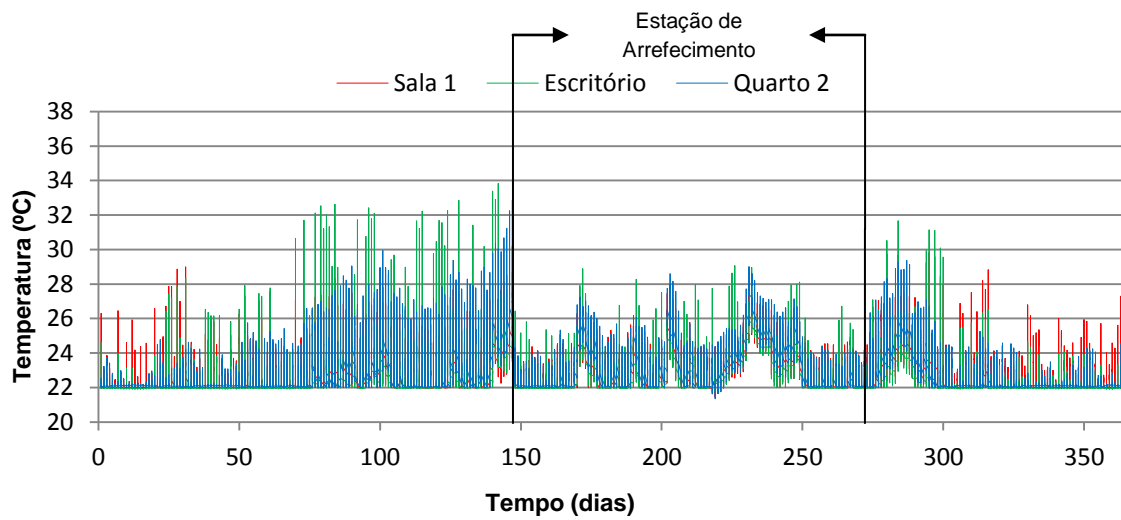


Figura 4.55 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 23

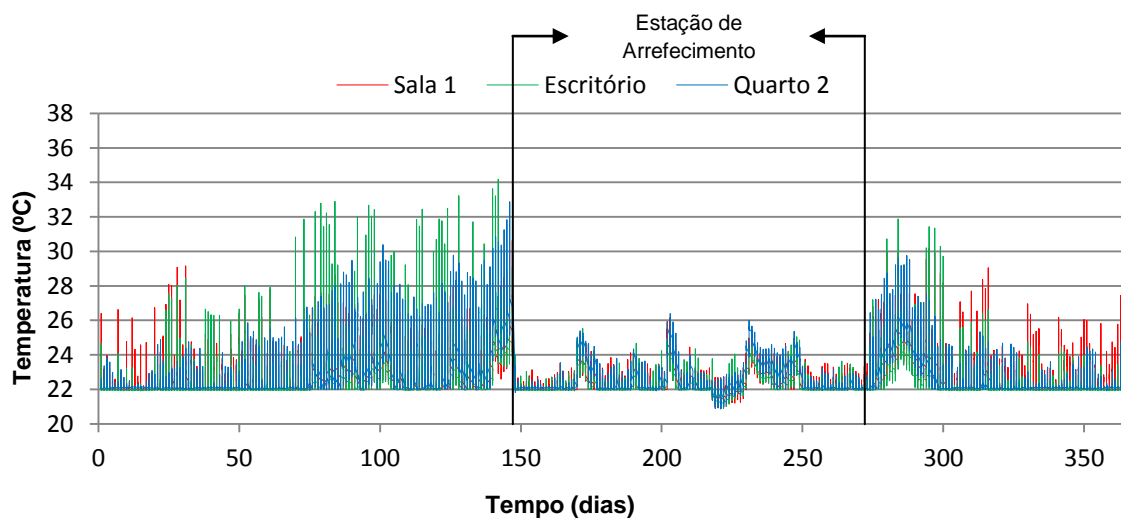


Figura 4.56 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 24

A análise sobre a Figura 4.57 indica que as necessidades energéticas para aquecimento são tanto menores quanto maior o nível de qualidade térmica. O reforço da qualidade térmica do nível E1 para o nível E3 representa uma redução do consumo energético de apenas  $4\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ .

	Simulação 22			Simulação 23			Simulação 24		
	CR-PR-E1-22-A1-VT2			CR-PR-E2-22-A1-VT2			CR-PR-E3-22-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20 °C a 25 °C	76,04%	82,12%	76,02%	85,95%	91,46%	84,78%	89,27%	94,32%	89,22%
Mais de 25 °C	23,96%	17,88%	23,98%	14,05%	8,54%	15,22%	10,73%	5,68%	10,78%
T min. (°C) - Inverno	22,0	21,9	22,0	22,0	21,9	22,0	22,0	21,9	21,9
T max. (°C) - Inverno	29,7	33,2	32,0	30,2	33,7	32,9	30,6	34,0	33,5
T mediana (°C)	22,9	22,1	22,4	22,7	22,1	22,3	22,5	22,0	22,2
T min. (°C) - Verão	22,0	22,0	22,0	21,5	21,7	21,4	20,9	20,9	20,9
T max. (°C) - Verão	32,0	36,8	33,3	28,0	29,0	29,0	26,2	25,5	26,4
Desvio Padrão (°C)	1,97	1,99	2,18	1,47	1,41	1,66	1,42	1,30	1,59
Necessidades para Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	65			61			61		

Figura 4.57 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 22, 23 e 24

As ilações retiradas da análise deste ponto (4.4.5) vão além do que seria de esperar depois do estudo de vários documentos no âmbito da revisão da literatura, principalmente em “Edifícios Existentes – Medidas de Melhoria do Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior” [16].

O autor entende que com o aumento da qualidade térmica de um vão envidraçado, o comportamento térmico seria melhorado, ou seja, se consiga uma elevada redução do consumo energético para aquecimento interior e em simultâneo um ambiente mais agradável, com um menor risco de sobreaquecimento. Fundamentalmente, o autor depreende que com o aumento da qualidade térmica a redução do consumo energético deverá ser bastante significativa.

No entanto, com a realização destas simulações constata-se que para este caso de estudo e com as características dos vãos envidraçados definidas no ponto 4.3.2.3, o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados conduz a uma poupança energética pouco significativa.

Tal acontece pois o reforço da qualidade térmica dos vãos envidraçados considera o mesmo fator solar para o inverno ( $g_{\perp}=0,56$ ) e apenas o de verão é reduzido consideravelmente (de  $g_{\perp}=0,50$  do nível E1 para  $g_{\perp}=0,09$  do nível E3). Nesse sentido, verifica-se que durante o verão existe uma elevada diminuição dos ganhos solares, sendo necessário um maior funcionamento do sistema de aquecimento de modo a tentar assegurar uma temperatura interior de 22°C. Assim, a redução das perdas de calor conseguidas com o aumento da qualidade térmica do vão envidraçado é atenuada pela redução dos ganhos solares (Quadro 4.18).

Quadro 4.18 – Ganhos solares brutos para as simulações 22, 23 e 24

		Envidraçados		
Nível de Qualidade Térmica		E1	E2	E3
$U_{\text{Envidraçado}} \text{ (W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$		3,30	2,48	1,98
Fator Solar inverno ( $g_{\perp}$ )		0,56	0,56	0,56
Fator Solar verão ( $g_{\perp}$ )		0,50	0,24	0,09
Edifício	Necessidades Térmicas (kWh/ano)	11.197	10.431	10.287
	Necessidades Térmicas (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	65	61	61
	Perdas (kWh/ano)	30.433	28.184	26.779
	Ganhos Solares (kWh/ano)	20.037	15.935	13.502

Ao parágrafo anterior acresce o facto de durante o inverno o fator solar adotado implicar picos de temperatura máxima no interior bastante elevados (superiores a 30°C podendo inclusive chegar aos 34°C – Figura 4.57). Este fenómeno indica que estão a ser considerados ganhos solares exagerados, pelo que recorrendo a proteções solares nos vãos envidraçados (de modo a controlar os ganhos solares com vista a um maior conforto interior), aqueles seriam bem menores, implicando maiores diferenças no valor das necessidades energéticas para aquecimento entre os três níveis de qualidade térmica.

Desse modo, é expectável que ativando a proteção solar dos vãos envidraçados se consigam poupanças energéticas mais significativas com o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados.

Outro fator que poderia distanciar positivamente (beneficiar) os níveis de qualidade térmica mais elevados no que toca ao consumo energético, seria desprezar o sistema de aquecimento no verão. Para esta dissertação, considera-se que durante o verão o sistema de aquecimento entra em funcionamento quando se registam temperaturas inferiores a 22°C. Não considerando o seu funcionamento naquele período, poderia antever-se uma maior diferença entre o consumo energético dos níveis E1 e E3.

Assim, o autor julga que ativando as proteções solares dos vãos envidraçados e não considerando o aquecimento do interior durante o verão, o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados poderia conduzir a reduções no consumo energético bem mais expressivas.

Sintetizando, o reforço da qualidade térmica dos vãos envidraçados permite que durante o verão se consiga um maior conforto térmico no interior dos compartimentos através da diminuição dos picos de temperatura máxima e da ocorrência de temperaturas superiores a 25°C. A preferência por vãos envidraçados de qualidade E3 face a E1, resulta na diminuição dos picos de temperatura máxima em 6,6, 11,6 e 7,4°C para a Sala 1, Escritório e Quarto 2, respetivamente.

Para a estação de inverno, observando o Quadro 4.18, constata-se que a melhoria da qualidade térmica destes vãos diminui o coeficiente de transmissão térmica de 3,30 para 2W/m<sup>2</sup>.°C, reduzindo substancialmente as perdas de calor para o exterior em 3.654kWh/.ano. Sem aquecimento, observa-se que o reforço da qualidade possibilita um aumento geral da temperatura, refletido pela subida dos picos de temperatura mínima em 1, 0,8 e 1°C para a Sala 1, Escritório e Quarto 2, respetivamente.

Assim, a fixação das características dos vãos envidraçados a utilizar deve neste caso procurar um compromisso entre dois objetivos: reduzir as perdas de calor para o exterior adotando um coeficiente de transmissão térmica reduzido e controlar os ganhos solares a partir do fator solar, de modo a aumentar os ganhos solares sem sobreaquecer em excesso o interior dos compartimentos.

#### 4.4.6. OTIMIZAÇÃO DA ENVOLVENTE DO EDIFÍCIO REABILITADO

A determinação do melhor compromisso poderia implicar a realização das 1152 simulações. Não tendo o autor tempo disponível para as realizar durante o desenvolvimento da dissertação, a realização das simulações anteriores conferiu algumas ideias a considerar na determinação das soluções construtivas que melhor desempenho oferecem ao edifício, do ponto de vista energético e de conforto.

Desse modo, o autor escolheu para o isolamento da cobertura o nível de qualidade térmica três (C3), o nível de qualidade térmica três para as paredes exteriores (P3), com aplicação do isolamento pelo exterior (E) e vãos envidraçados de qualidade três (E3). Posteriormente, esta solução será designada por C3-P3-E-E3 (Quadro 4.19).

Quadro 4.19 – Síntese das soluções construtivas para efeitos de comparação

	Espessura de Isolamento Térmico		Vãos Envidraçados			
	Cobertura	Paredes Exteriores	Nascente		Sul e Poente	
			Inverno	Verão	Inverno	Verão
Edifício Realibilitado CR-PR-ER	12 cm	5,5 cm	U = 2,30 W/m <sup>2</sup> .°C		U = 2,50 W/m <sup>2</sup> .°C	
			g <sub>⊥</sub> = 0,56	g <sub>⊥</sub> = 0,20	g <sub>⊥</sub> = 0,56	g <sub>⊥</sub> = 0,10
Solução Proposta C3-P3-E-E3	14 cm	9,5 cm	U = 2 W/m <sup>2</sup> .°C			
			g <sub>⊥</sub> = 0,56	g <sub>⊥</sub> = 0,09	g <sub>⊥</sub> = 0,56	g <sub>⊥</sub> = 0,09

De modo a perceber se a solução determinada constitui uma mais-valia face ao edifício reabilitado, permitindo a otimização daquela envolvente, procedeu-se à realização de novas simulações (Quadro 4.20) considerando o edifício sujeito a normais condições de funcionamento. A análise de cada uso é feita considerando o edifício com e sem aquecimento interior.

Quadro 4.20 – Simulações realizadas com vista à otimização da envolvente

Simulações Realizadas	
Número	Código
25	C3-P3-E-E3-0-A1-VT2
26	C3-P3-E-E3-22-A1-VT2

#### 4.4.6.1. Sem aquecimento

Observando os resultados das simulações 2 e 25 (Figuras 4.58 a 4.60) verifica-se que a solução determinada pelo autor resulta num maior conforto térmico para o ano simulado.

Relativamente ao período de verão, a solução proposta permite uma diminuição dos picos de temperatura máxima anulando o registo de temperaturas superiores a 25°C. Os compartimentos com vãos envidraçados orientados a Nascente são os que sofrem a maior diminuição do fator solar de verão (de g<sub>⊥</sub>=0,20 para g<sub>⊥</sub>=0,09). Por isso, o Quarto 2 é o compartimento que regista a maior descida de temperatura no período de verão. A temperatura máxima naquele compartimento é diminuída em 1,6°C (de 26,4 para 24,8°C) além de que a mínima registada passa de 17,5 para 16,9°C.

No que diz respeito ao desempenho do edifício no inverno, a solução proposta permite uma subida ligeira nos picos de temperatura mínima, nomeadamente de 0,3°C para o Escritório e 1,5°C para o Quarto 2. Com menores coeficientes de transmissão térmica para a envolvente, os compartimentos em estudo conseguem uma melhor conservação dos ganhos internos e solares.

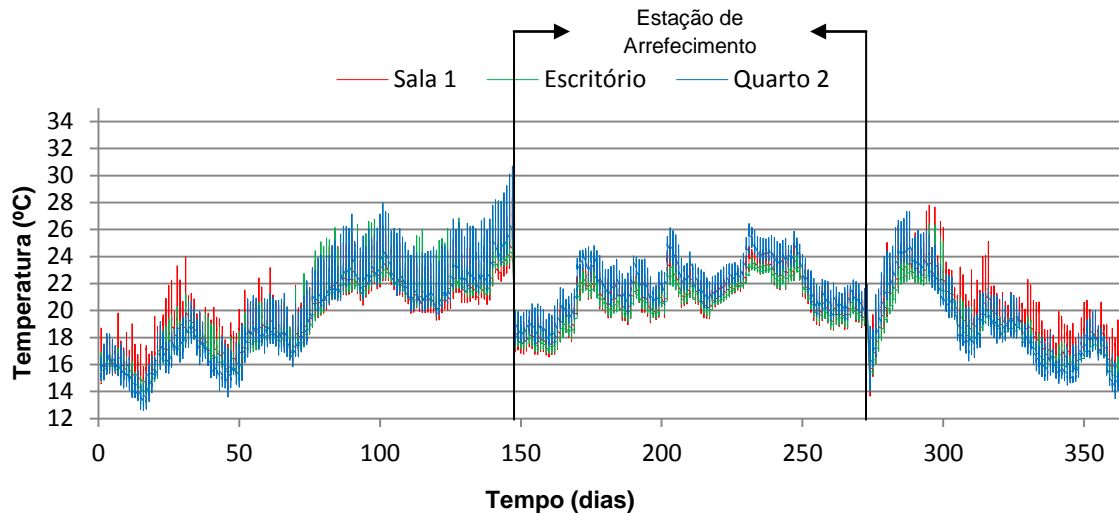


Figura 4.58 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 2

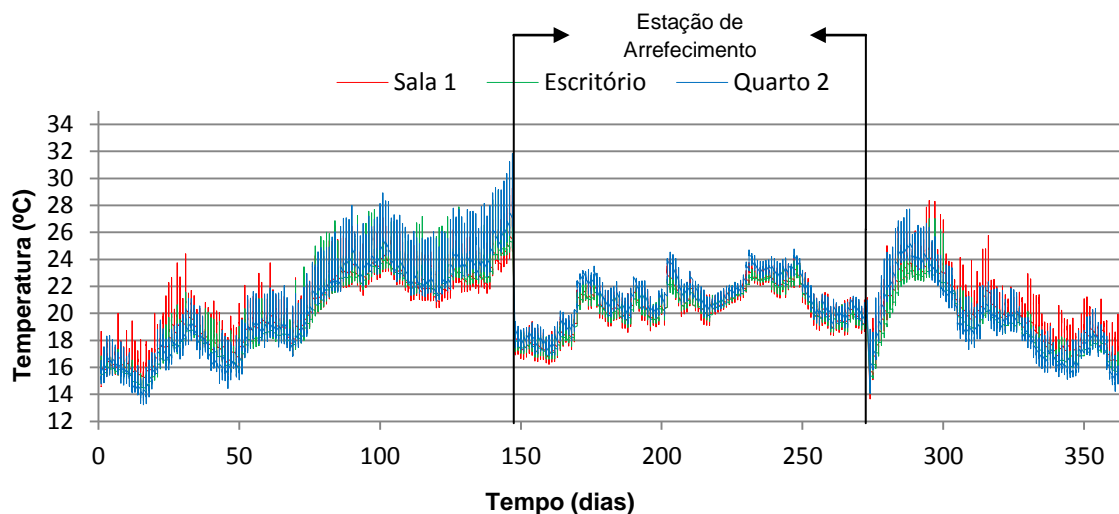


Figura 4.59 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 25

Observando a Figura 4.60 verifica-se que a ocorrência de temperaturas compreendidas no intervalo entre 20 e 25°C é menor nos três compartimentos para a solução proposta. Este fenómeno não indica que o conforto térmico é menor mas sim que durante o inverno os ganhos solares em excesso conseguidos pelo edifício são melhor conservados no seu interior, implicando temperaturas bastante mais elevadas.

Como foi explicado anteriormente (4.4.5.2) não foi considerado para o inverno a total ativação da proteção solar, pois neste período o objetivo passa pela maximização dos ganhos solares. O autor entende que caso se procedesse a um correto controlo dos ganhos solares através das respetivas proteções poder-se-iam evitar temperaturas tão elevadas. Assim, da solução proposta não resultariam inconvenientes para os residentes, mas apenas benefícios com picos de temperatura mínima mais elevados em valor.

	Simulação 1			Simulação 2			Simulação 25		
	CO-PO-EO-0-A1-VT2			CR-PR-ER-0-A1-VT2			C3-P3-E-E3-0-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	45,72%	52,01%	44,72%	42,43%	49,23%	41,92%	40,30%	48,74%	42,61%
20 °C a 25 °C	47,69%	46,32%	35,49%	55,58%	49,77%	52,01%	55,35%	49,14%	50,13%
Mais de 25 °C	6,59%	1,67%	19,79%	1,99%	1,00%	6,07%	4,35%	2,12%	7,26%
T min. (°C) - Inverno	11,9	12,1	9,5	13,7	13,7	12,6	13,7	14,0	14,1
T max. (°C) - Inverno	28,5	28,4	32,1	28,4	28,1	30,7	29,3	29,0	31,8
T mediana (°C)	20,4	19,8	20,8	20,6	20,1	20,8	20,7	20,1	20,7
T min. (°C) - Verão	17,0	17,4	17,4	16,6	16,9	17,5	16,2	16,6	16,9
T max. (°C) - Verão	28,5	27,1	35,0	24,9	24,2	26,4	24,3	23,9	24,8
Desvio Padrão (°C)	3,28	3,06	4,79	2,54	2,58	3,20	2,54	2,62	3,10

Figura 4.60 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 1, 2 e 25

Em síntese, a solução proposta pelo autor para a otimização da envolvente permite um maior conforto térmico durante o período de verão, principalmente no Quarto 2, espaço que até aqui registava temperaturas superiores a 25°C. Com a solução proposta, a temperatura máxima registada é reduzida em 1,6°C (de 26,4 para 24,8°C), não se registando quaisquer temperaturas acima dos 25°C. Também a Sala 1 e o Escritório registam reduções nos picos de temperatura máxima em 0,6 e 0,3°C, respetivamente.

No inverno, o maior isolamento da envolvente permite uma subida geral da temperatura no interior dos compartimentos em estudo. Os picos de temperatura mínima aumentam ligeiramente para o Escritório e o Quarto 2 em 0,3°C e 1,5°C, respetivamente.

## 4.4.6.2. Com aquecimento

Admitindo que o ambiente interior é aquecido pelos utilizadores, a solução proposta destaca-se fundamentalmente pela elevada diminuição das necessidades energéticas (Figura 4.63). Face ao edifício atual, existe uma diminuição de  $9\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$  (uma redução de quase 16%).

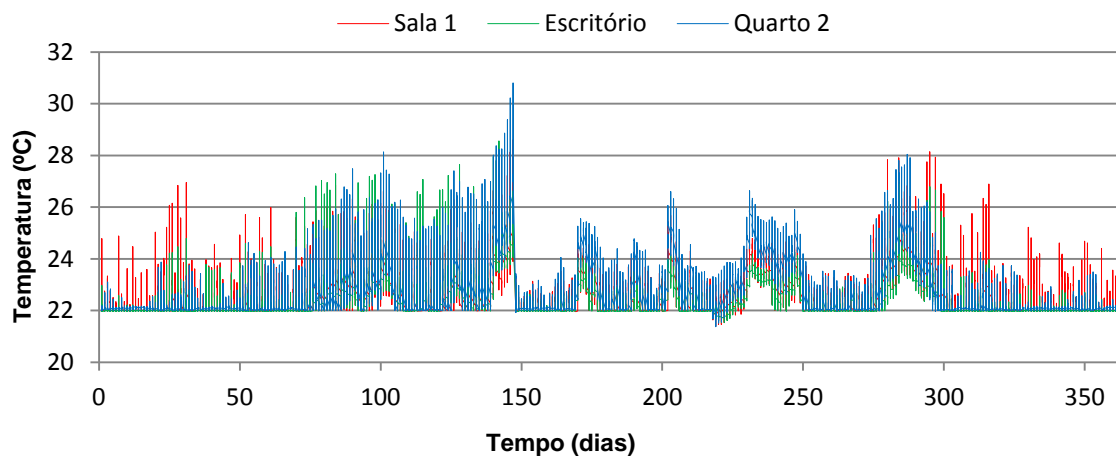


Figura 4.61 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 4

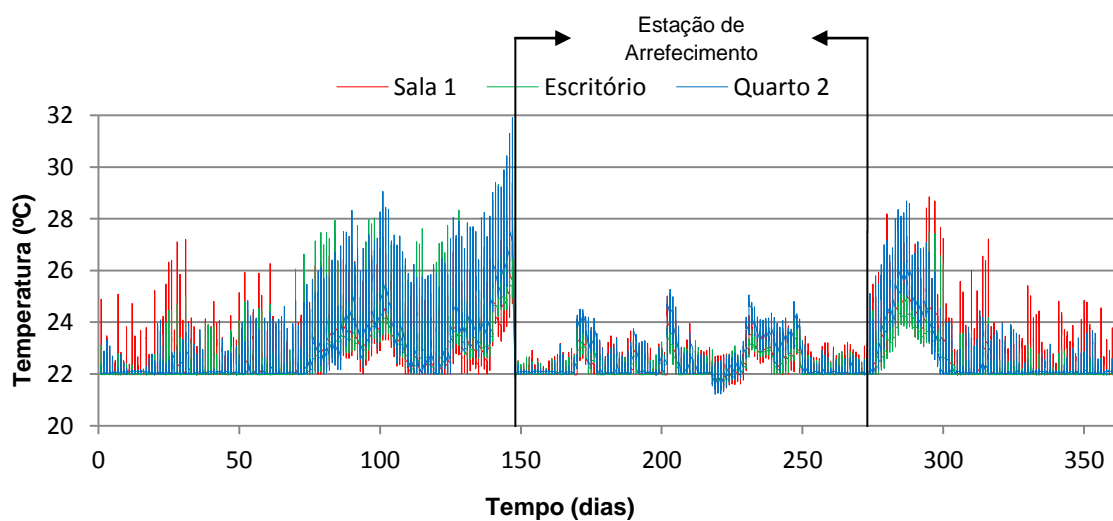


Figura 4.62 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 26

	Simulação 3			Simulação 4			Simulação 26		
	CO-PO-EO-22-A1-VT2			CR-PR-ER-22-A1-VT2			C3-P3-E-E3-22-A1-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20 °C a 25 °C	89,78%	97,61%	77,67%	94,53%	98,33%	90,89%	91,31%	96,66%	90,24%
Mais de 25 °C	10,22%	2,39%	22,33%	5,47%	1,67%	9,11%	8,69%	3,34%	9,76%
T min. (°C) - Inverno	22,0	22,0	21,7	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
T max. (°C) - Inverno	28,7	28,9	32,2	28,6	28,5	30,1	29,4	29,3	31,9
T mediana (°C)	22,3	22,1	22,0	22,5	22,1	22,3	22,5	22,2	22,2
T min. (°C) - Verão	21,2	21,4	20,9	21,4	21,5	21,4	21,4	21,6	21,2
T max. (°C) - Verão	28,8	27,1	35,0	25,7	24,3	26,6	25,1	24,1	25,3
Desvio Padrão (°C)	1,32	0,81	2,37	1,08	0,78	1,27	1,23	0,96	1,43
Necessidades para Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	162			59			50		

Figura 4.63 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 3, 4 e 26

A redução das necessidades energéticas para aquecimento é conseguida fundamentalmente pelo reforço do isolamento térmico da envolvente opaca e envidraçada que permite uma diminuição anual das perdas em 3.008kWh/ano (Quadro 4.21).

Quadro 4.21 – Necessidades energéticas para simulações 4 e 26

Solução Construtiva		Envidraçados		
		CR-PR-ER-22-A1-VT2	C3-P3-E-E3-22-A1-VT2	
Orientação		Sul e Poente	Nascente	Sul, Poente e Nascente
U <sub>Envidraçado</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)		2,50	2,30	2
Fator Solar (g <sub>⊥</sub> )	inverno	0,56	0,56	0,56
	verão	0,10	0,20	0,09
Edifício	Necessidades Térmicas (kWh/ano)		10.105	8.386
	Necessidades Térmicas (kWh/m <sup>2</sup> .ano)		59	50
	Perdas (kWh/ano)		27.700	24.692
	Ganhos Solares (kWh/ano)		14.538	13.502

A diminuição do fator solar de verão é feita sobretudo nos vãos envidraçados orientados a Nascente (de g<sub>⊥</sub>=0,20 para g<sub>⊥</sub>=0,09) e atendendo que a área dos vãos envidraçados orientados a Nascente é bem superior à dos orientados a Sul e Poente (Quadro 4.22), a solução proposta resulta numa diminuição anual dos ganhos solares em 1.036kWh.



Quadro 4.22 – Área total de vãos envidraçados do edifício

Área Total de Envidraçados (m <sup>2</sup> )	
Nascente	Sul e Poente
27,35	13,57

Em síntese, a solução proposta pelo autor consegue melhorar o desempenho do edifício reabilitado do ponto de vista do conforto, reduzindo o risco de sobreaquecimento dos compartimentos em estudo através do controlo do fator solar e subindo de modo geral as temperaturas durante o inverno fruto do maior isolamento da envolvente. Além disso, o desempenho energético também é melhorado, permitindo uma poupança anual em aquecimento de 9kWh/m<sup>2</sup>.

#### 4.4.7. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO ENERGÉTICO E DE CONFORTO DO EDIFÍCIO

Pese embora o edifício estar sujeito maioritariamente às condições de utilização consideradas no ponto 4.3.3, poderão ocorrer níveis de ocupação, potência dissipada e de ventilação de menor ou maior intensidade face ao experimentado inicialmente.

Para uma melhor compreensão da influência das condições de utilização sobre o desempenho térmico, são realizadas várias simulações aplicadas ao edifício em estudo, ou seja, após reabilitação (CR-PR-ER):

Quadro 4.23 – Simulações realizadas para avaliação da influência do aumento do nível de ventilação sobre o desempenho do edifício

Simulações Realizadas	
Número	Código
27	CR-PR-ER-0-A1-VT1
28	CR-PR-ER-0-A1-VT3
29	CR-PR-ER-22-A1-VT1
30	CR-PR-ER-22-A1-VT3

Quadro 4.24 – Simulações realizadas para avaliação da influência do aumento do nível de ocupação sobre o desempenho do edifício

Simulações Realizadas	
Número	Código
2	CR-PR-ER-0-A1-VT2
31	CR-PR-ER-0-A2-VT2
4	CR-PR-ER-22-A1-VT2
32	CR-PR-ER-22-A2-VT2

#### 4.4.7.1. Ventilação

Experimentando para o edifício em estudo um aumento do nível de ventilação durante o período de verão, observa-se uma diminuição da temperatura registada nesse período que pode ser percebida pelos gráficos das Figuras 4.64 e 4.65, mesmo que os picos de temperatura máxima nos compartimentos sejam diminuídos em apenas 0,8°C para a Sala 1, 0,7°C para o Escritório e 0,4°C para o Quarto 2.

A diminuição da temperatura pode também ser constatada pelo aumento do registo de temperaturas inferiores a 20°C: 10,49% para a Sala 1, 9,6% para o Escritório e 6,56% para o Quarto 2 (Figura 4.66).

No período correspondente à estação de arrefecimento, a ventilação é feita de modo mais intenso durante o período noturno (Quadro 4.10 – página 59), quando as temperaturas exteriores são mais reduzidas, permitindo uma maior renovação do ar, provocando a diminuição da temperatura no interior dos compartimentos.

Como consta no Quadro 4.10 (página 59), o aumento da ventilação durante a estação de aquecimento é de nível para nível bastante reduzido quando comparado com o aumento imposto durante a estação de arrefecimento. Por esse motivo, as consequências da ventilação repercutem-se de modo mais acentuado na estação de arrefecimento, como é possível observar nos resultados das Figuras 4.64 a 4.66.

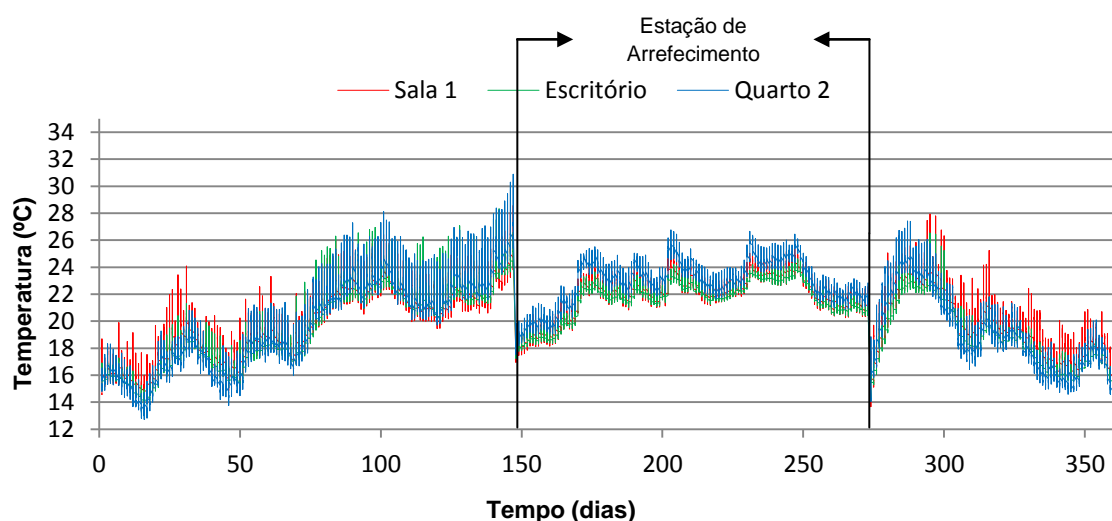


Figura 4.64 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 27

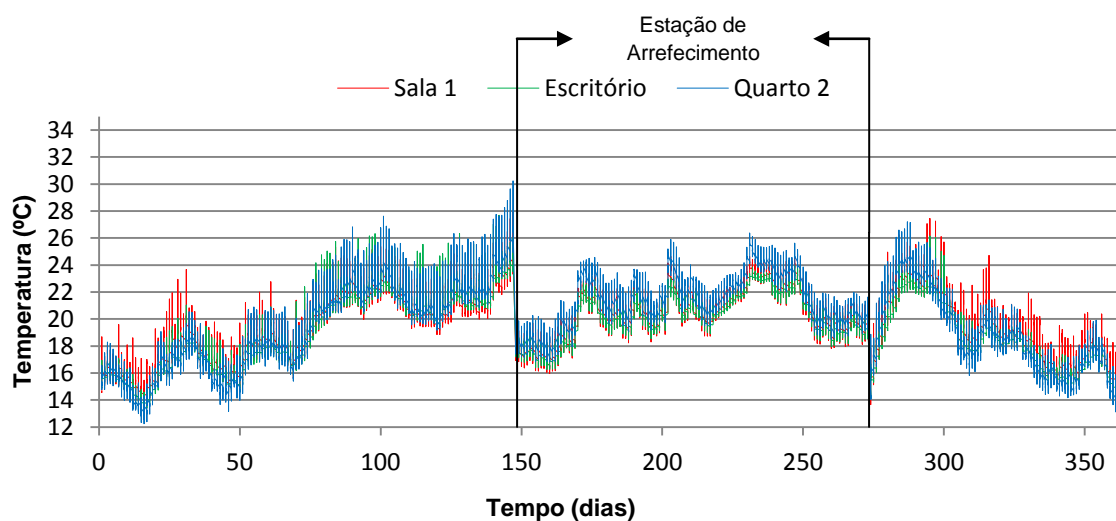


Figura 4.65 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 28

	Simulação 27			Simulação 28		
	CR-PR-ER-0-A1-VT1			CR-PR-ER-0-A1-VT3		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	36,76%	43,81%	38,76%	47,25%	53,41%	45,32%
20 °C a 25 °C	60,74%	55,03%	52,79%	51,38%	45,96%	49,91%
Mais de 25 °C	2,50%	1,16%	8,45%	1,37%	0,63%	4,77%
T min. (°C) - Inverno	13,7	13,9	12,7	13,7	13,4	12,3
T max. (°C) - Inverno	28,6	28,3	30,9	28,0	27,6	30,2
T mediana (°C)	21,3	21,0	21,5	20,2	19,7	20,5
T min. (°C) - Verão	17,0	17,3	17,5	16,0	16,3	16,8
T max. (°C) - Verão	25,5	24,7	26,8	24,7	24,0	26,4
Desvio Padrão (°C)	2,63	2,71	3,35	2,53	2,56	3,17

Figura 4.66 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 27 e 28

	Simulação 29			Simulação 30		
	CR-PR-ER-22-A1-VT1			CR-PR-ER-22-A1-VT3		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20 °C a 25 °C	93,76%	98,20%	88,85%	95,76%	98,72%	92,50%
Mais de 25 °C	6,24%	1,80%	11,15%	4,24%	1,28%	7,50%
T min. (°C) - Inverno	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
T max. (°C) - Inverno	28,7	28,6	31,0	28,2	28,2	30,4
T mediana (°C)	22,7	22,2	22,5	22,4	22,0	22,2
T min. (°C) - Verão	21,6	21,7	21,7	21,4	21,5	21,4
T max. (°C) - Verão	25,7	24,6	26,8	25,7	24,2	26,6
Desvio Padrão (°C)	1,11	0,82	1,34	1,01	0,72	1,20
Necessidades para Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	48			72		

Figura 4.67 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 29 e 30

Considerando agora o aquecimento do ambiente interior durante o período de inverno, constata-se que o aumento da ventilação do nível VT1 para VT3 implica uma subida substancial do consumo energético de 48kWh/m<sup>2</sup>.ano para 72kWh/m<sup>2</sup>.ano, demonstrando assim que a ventilação influencia determinantemente o consumo energético do edifício para aquecimento.

#### 4.4.7.2. Ganhos internos

Para a estação climática de verão, o aumento dos ganhos internos resulta num maior desconforto térmico no interior dos compartimentos, devido ao aumento indesejado da temperatura (Figuras 4.68 e 4.69).

O aumento da temperatura para aquele período pode ser constatado pela subida dos picos de temperatura máxima: 1,8 °C para a Sala 1, 1,3°C para o Escritório e 0,7°C para o Quarto 2. Além disso, aumenta o período com temperaturas superiores a 25°C, a temperatura mediana bem como as temperaturas mínimas (Figura 4.70).

Analisando ainda a Figura 4.70, verifica-se que a Sala 1 é o compartimento onde se regista o maior aumento da temperatura máxima (em 1,8°C), da temperatura mediana (em 1,4°C) e da temperatura mínima (em 0,4°C).

Tal acontece, pois a Sala 1 é o compartimento mais sensível ao aumento dos ganhos internos. Este compartimento é ocupado durante a manhã e a tarde, coincidindo com as horas de maiores ganhos solares. A isto acresce o facto de na estação de arrefecimento se proceder a uma menor ventilação durante o período diurno (Quadro 4.10 – página 59). Além disso, é o compartimento com a maior potência dissipada por aparelhos.

A Figura 4.70 indica também que o compartimento onde se regista o menor aumento da ocorrência de temperaturas superiores a 20°C é o Quarto 2 (aumento de apenas 7,76% face ao aumento de 16,19% na Sala 1), demonstrando que este é o menos influenciado pelo aumento do nível de ocupação. Tal acontece, pois é ocupado durante o período noturno, altura em que durante a estação climática de verão se procede à maior ventilação do edifício (Quadro 4.10 – página 59).

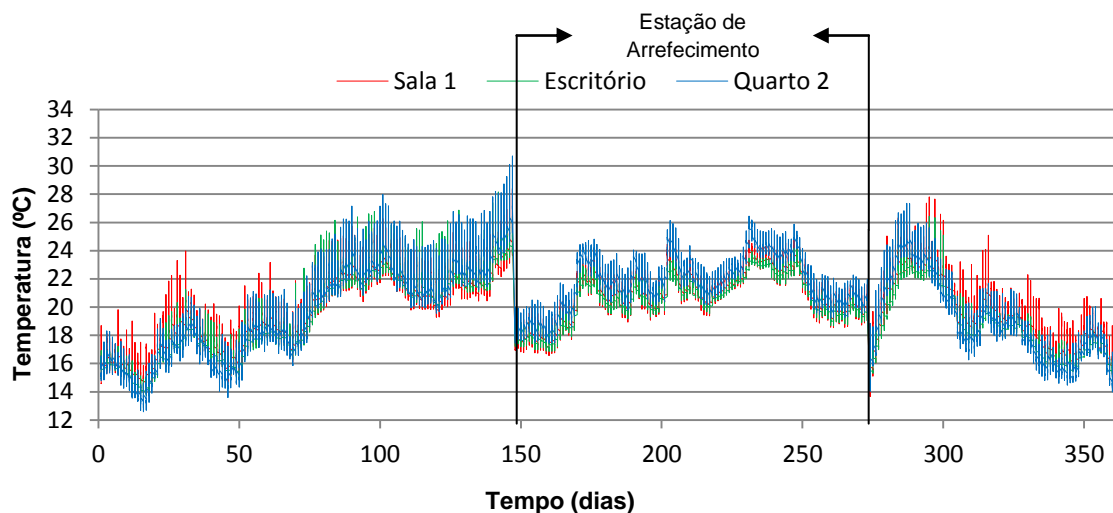


Figura 4.68 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 2

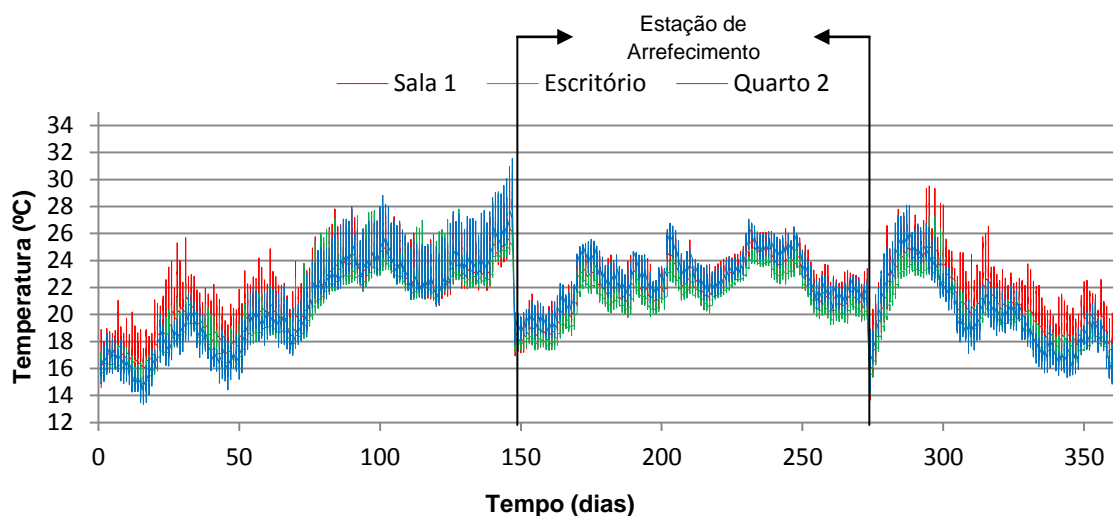


Figura 4.69 – Evolução da temperatura ao longo do ano para a simulação 31

Durante a estação de aquecimento, o aumento dos ganhos internos resulta num aumento do conforto térmico com os picos de temperatura mínima a subirem até 0,8°C (no caso do Quarto 2) em função do compartimento.

	Simulação 2			Simulação 31		
	CR-PR-ER-0-A1-VT2			CR-PR-ER-0-A2-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	42,43%	49,23%	41,92%	26,24%	41,47%	36,22%
20 °C a 25 °C	55,58%	49,77%	52,01%	61,92%	56,19%	52,06%
Mais de 25 °C	1,99%	1,00%	6,07%	11,84%	2,34%	11,72%
T min. (°C) - Inverno	13,7	13,7	12,6	13,7	14,1	13,4
T max. (°C) - Inverno	28,4	28,1	30,7	29,5	29,0	31,6
T mediana (°C)	20,6	20,1	20,8	22,0	20,9	21,7
T min. (°C) - Verão	16,6	16,9	17,5	17,0	17,2	17,8
T max. (°C) - Verão	24,9	24,2	26,4	26,7	25,5	27,1
Desvio Padrão (°C)	2,54	2,58	3,20	2,66	2,62	3,16

Figura 4.70 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 2 e 31

Por outro lado, recorrendo a um sistema de aquecimento, quando se procede a um aumento dos ganhos internos, as necessidades energéticas para aquecimento são reduzidas em 17kWh/m<sup>2</sup>.ano.

	Simulação 4			Simulação 32		
	CR-PR-ER-22-A1-VT2			CR-PR-ER-22-A2-VT2		
	Sala 1	Escritório	Quarto 2	Sala 1	Escritório	Quarto 2
Até 20 °C	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20 °C a 25 °C	94,53%	98,33%	90,89%	82,85%	96,23%	85,45%
Mais de 25 °C	5,47%	1,67%	9,11%	17,15%	3,77%	14,55%
T min. (°C) - Inverno	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
T max. (°C) - Inverno	28,6	28,5	30,1	30,5	29,2	31,6
T mediana (°C)	22,5	22,1	22,3	23,3	22,4	22,6
T min. (°C) - Verão	21,4	21,5	21,4	22,0	21,9	21,6
T max. (°C) - Verão	25,7	24,3	26,6	27,2	25,5	27,2
Desvio Padrão (°C)	1,08	0,78	1,27	1,49	1,01	1,50
Necessidades para Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	59			42		

Figura 4.71 – Informação sobre o período de conforto e a amplitude térmica nos compartimentos para simulações 4 e 32

Sintetizando, é possível constatar que o aumento dos ganhos internos eleva de modo evidente a temperatura no interior dos compartimentos em todo o ano simulado. Na estação de arrefecimento, o aumento dos ganhos internos resulta sempre em maior desconforto devido ao maior risco de sobreaquecimento, elevando os picos de temperatura máxima bem como a ocorrência de temperaturas superiores a 25°C. No inverno, o aumento do nível de ocupação de A1 para A2 conduz a uma diminuição das necessidades energéticas em quase 29%.

Importa ainda reter que o aumento dos ganhos internos pode conduzir a menores efeitos, nomeadamente sobre o aumento da temperatura, se esse aumento coincidir com o período de maior ventilação do compartimento ou edifício.





# 5

## CONCLUSÕES

### 5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 5.1.1. CONCLUSÕES GERAIS

A definição da solução proposta teve por base as deduções provenientes do estudo individual da influência da variação da qualidade térmica de cada elemento construtivo.

A solução determinada pelo autor (Quadro 5.1) consegue melhorar o desempenho térmico do edifício, satisfazendo dois compromissos: a redução do consumo de energia para aquecimento e o aumento do conforto térmico no interior dos compartimentos. Face ao edifício em estudo, optou-se por reforçar o isolamento térmico da envolvente (Quadro 5.2).

Com o desenvolvimento da dissertação constata-se que a determinação de uma solução ótima para a envolvente depende das condições de utilização do edifício. Se o funcionamento do sistema de aquecimento for preterido pelos utilizadores, as soluções construtivas então definidas podem não oferecer o melhor conforto possível.

Atendendo às características do clima da cidade do Porto, é sim possível definir um bom compromisso entre conforto térmico e reduzidas necessidades energéticas.

É imprescindível compreender que também os edifícios construídos noutras décadas devem satisfazer as exigências de conforto atuais dos utilizadores, poupando em simultâneo, recursos energéticos para tal, nomeadamente em aquecimento durante a estação fria.

Pelo menos para edifícios antigos, não é possível oferecer um ambiente termicamente agradável nos compartimentos que os compõem, sem recurso a sistemas de aquecimento. Mas terão as pessoas condições financeiras para o fazer futuramente?

Quadro 5.1 – Solução para otimização da envolvente do edifício em estudo

Cobertura	Nível C3
Paredes Exteriores	Nível P3
Localização do Isolante Térmico	Exterior
Vãos Envidraçados	Nível E3

Quadro 5.2 – Edifício em estudo versus solução proposta

	Coeficiente de Transmissão Térmica – U (W/m <sup>2</sup> .°C)		Vãos Envidraçados			
	Cobertura	Paredes Exteriores	Nascente		Sul e Poente	
			Inverno	Verão	Inverno	Verão
Edifício Reabilitado	U = 0,31	U = 0,59	U = 2,30 W/m <sup>2</sup> .°C		U = 2,50 W/m <sup>2</sup> .°C	
CR-PR-ER			g <sub>⊥</sub> = 0,56	g <sub>⊥</sub> = 0,20	g <sub>⊥</sub> = 0,56	g <sub>⊥</sub> = 0,10
Solução Proposta	U = 0,27	U = 0,36	U = 2 W/m <sup>2</sup> .°C			
C3-P3-E-E3			g <sub>⊥</sub> = 0,56	g <sub>⊥</sub> = 0,09	g <sub>⊥</sub> = 0,56	g <sub>⊥</sub> = 0,09

### 5.1.2. CONCLUSÕES ESPECÍFICAS

Para conseguir otimizar a envolvente do edifício, foram realizadas diversas simulações (Figura 5.1), de modo a avaliar a reabilitação do edifício face a este no seu estado original e perceber de que forma cada elemento construtivo afeta o desempenho energético e de conforto térmico do edifício. Mais simulações foram realizadas para compreender de que modo as condições de utilização do edifício afetam o seu desempenho (Figura 5.2). Com base nessas simulações, o autor retirou um conjunto de ilações.

Avaliação da Reabilitação Realizada	Sem Aquecimento	CO-PO-EO-0-A1-V2		
		CR-PR-ER-0-A1-V2		
	Com Aquecimento	CO-PO-EO-22-A1-V2		
		CR-PR-ER-22-A1-V2		
Avaliação da Influência do Nível da Qualidade Térmica da Cobertura	Sem Aquecimento	— Espessura +	CO-PR-ER-0-A1-V2	
			C1-PR-ER-0-A1-V2	
			C4-PR-ER-0-A1-V2	
	Com Aquecimento	— Espessura +	CO-PR-ER-22-A1-V2	
			C1-PR-ER-22-A1-V2	
			C4-PR-ER-22-A1-V2	
Avaliação da Influência da Qualidade Térmica das Paredes Exteriores	Sem Aquecimento	↓ — +	CR-P1-E-ER-0-A1-V2	
			CR-P4-E-ER-0-A1-V2	
	Com Aquecimento	↓ — +	CR-P1-E-ER-22-A1-V2	
			CR-P4-E-ER-22-A1-V2	
Avaliação da Influência da Localização do Isolante Térmico nas Paredes	Sem Aquecimento	Pelo Interior	↓ — +	CR-P1-I-ER-0-A1-V2
				CR-P4-I-ER-0-A1-V2
	Com Aquecimento		↓ — +	CR-P1-I-ER-22-A1-V2
				CR-P4-I-ER-22-A1-V2
Avaliação da Influência da Qualidade Térmica dos Vãos Envidraçados	Sem Aquecimento	↓ — +	CR-PR-E1-0-A1-V2	
			CR-PR-E2-0-A1-V2	
			CR-PR-E3-0-A1-V2	
	Com Aquecimento	↓ — +	CR-PR-E1-22-A1-V2	
			CR-PR-E2-22-A1-V2	
			CR-PR-E3-22-A1-V2	

Figura 5.1 – Simulações realizadas com vista à otimização da envolvente do edifício

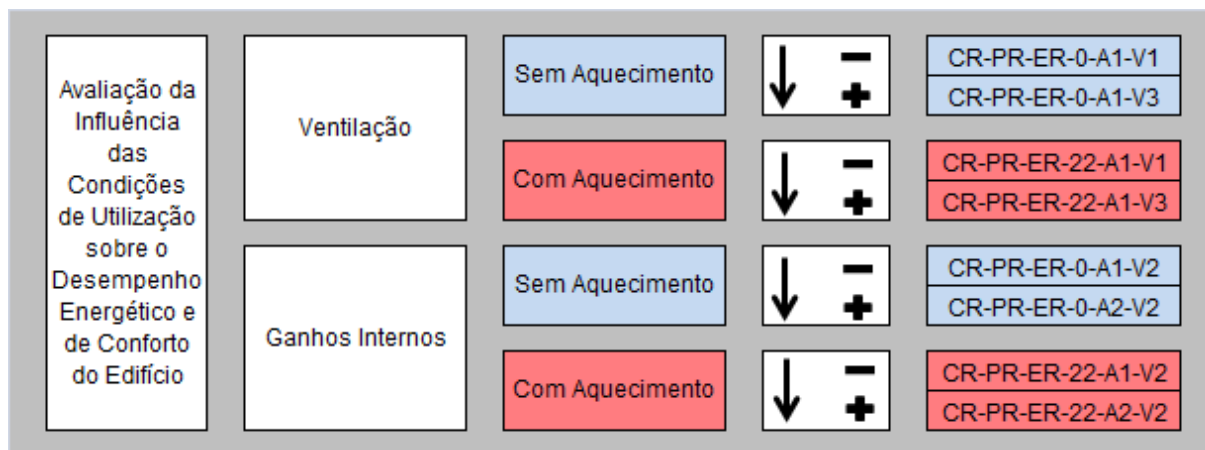


Figura 5.2 – Simulações realizadas para avaliação das condições de utilização

Sobre a avaliação realizada no edifício em estudo:

- A intervenção operada no edifício resulta num claro benefício para o conforto térmico de verão. As temperaturas no interior dos compartimentos em estudo diminuem consideravelmente, observam-se menores amplitudes térmicas e picos de temperatura máxima bem mais reduzidos. Por exemplo, no Quarto 2 o pico máximo passa de 35°C para 26,4 °C e o período de ocorrência de temperaturas superiores a 25 °C é diminuído em 13,72%.
- No inverno, não dispondo de um sistema de aquecimento, também se retiram benefícios para o conforto, registando-se menores flutuações térmicas e uma subida considerável dos picos de temperatura mínima: 1,8°C para a Sala 1, 1,6°C para o Escritório e 3,1°C para o Quarto 2.
- Aquecendo o ambiente interior durante a estação de inverno, consegue-se com a reabilitação uma elevada redução no consumo energético, nomeadamente 103 kWh/m<sup>2</sup>.ano, ou seja, uma diminuição de quase 64% face ao consumo inicial. Independentemente da época do ano e de se aquecer ou não o edifício, o Quarto 2 é o compartimento que mais beneficia com a reabilitação.

Sobre a avaliação da influência da qualidade térmica da cobertura:

- O reforço do isolamento térmico pela cobertura permite que no verão exista um maior conforto térmico, graças à diminuição da frequência com que ocorrem temperaturas superiores a 25 °C, à atenuação significativa dos picos de temperatura máxima e ao registo de menores flutuações térmicas. Embora todos os compartimentos sintam o efeito do incremento do isolamento térmico, são os localizados imediatamente abaixo da cobertura que são mais beneficiados. O Quarto 2 foi o que registou a maior diminuição da temperatura máxima, em 7,6°C (do nível CO para C4), enquanto que a Sala 1 e o Escritório registaram diminuições de 1,2 e 1,8°C, respetivamente.
- Para a estação de inverno, não considerando o aquecimento do ambiente interior, o reforço do isolamento térmico pela cobertura apenas conduz a melhorias evidentes no conforto térmico para o compartimento imediatamente abaixo da cobertura: Quarto 2. Para o Quarto 2, verifica-se que o aumento do isolamento térmico até 8cm (de CO para C1) aumenta o pico de temperatura mínima em valor em 2,1°C.

- Contudo, supondo o funcionamento do sistema de aquecimento, o reforço do isolamento térmico permite consideráveis reduções nas necessidades energéticas. A aplicação de 8 cm de isolante térmico conduz a uma poupança de 34kWh/m<sup>2</sup>.ano face à solução desprovida de isolamento térmico pela cobertura. O incremento de isolamento térmico de 8 para 16 cm (correspondente ao aumento do nível C1 para C4) não permite benefícios significativos do ponto de vista energético (nem para o conforto), conduzindo apenas a 1 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Sobre a avaliação da influência da qualidade térmica das paredes exteriores:

- O reforço do isolamento térmico para a estação de verão não conduz a ganhos evidentes para o conforto térmico. Aliás, o Quarto 2, o compartimento mais vulnerável ao sobreaquecimento, tende a aumentar o registo de temperaturas superiores a 25°C com o aumento do nível de isolamento de PO para P4.
- No inverno, sem o recurso a um sistema de aquecimento, o aumento do isolamento permite evidentes benefícios para o conforto. Para os três compartimentos em estudo verifica-se uma subida dos picos de temperatura mínima (entre 1,4 e 1,5°C), menores flutuações térmicas e um aumento considerável da frequência com que se registam temperaturas pertencentes ao intervalo de conforto definido pelo autor (20 a 25°C).
- Aquecendo o ambiente interior, as vantagens em aumentar o isolamento térmico pelas paredes exteriores são bem evidentes. A aplicação de 5,5 cm de EPS (nível P1) pelo exterior conduz a uma diminuição das necessidades energéticas para aquecimento de cerca de 52%. Por outro lado, a adoção de 11,5cm (nível P4) conduz a uma poupança de quase 60% face ao edifício sem isolamento térmico pelas paredes. É certo que o aumento do isolamento permite a redução das necessidades energéticas, no entanto, a partir da espessura correspondente ao nível P1 a redução não é tão expressiva.

Sobre a avaliação da localização do isolamento térmico nas paredes exteriores:

- A colocação do sistema de isolamento térmico pelo exterior é mais favorável ao desempenho energético e de conforto. No verão, o risco de sobreaquecimento é mais reduzido, pois os picos de temperatura máxima são ligeiramente menores, com diferenças de 1,3 a 1,6°C em função do compartimento. A ocorrência de temperaturas superiores a 25 °C é também menor, principalmente no Quarto 2.
- Na estação de inverno, não aquecendo o interior, a localização pelo exterior propicia um maior conforto térmico, com picos de temperatura mínima mais elevados (entre 0,6 e 1°C, dependendo do compartimento) e uma menor ocorrência de temperaturas inferiores a 20 °C.
- Do ponto de vista energético, a localização pelo exterior é mais eficiente, embora a diferença registada seja pouco relevante: 4kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Sobre a avaliação da influência da qualidade térmica dos vãos envidraçados:

- No verão, o reforço da qualidade térmica dos vãos envidraçados permite um maior conforto térmico no interior dos compartimentos através da diminuição dos picos de temperatura máxima e da ocorrência de temperaturas superiores a 25 °C (11,44% para o Quarto 2). A preferência de vãos envidraçados de qualidade E3 face a E1, resulta na diminuição dos picos de temperatura máxima em 6,6, 11,6 e 7,4°C para a Sala 1, Escritório e Quarto 2, respetivamente.
- Para o inverno, o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados permite um maior conforto no inverno, elevando os picos de temperatura mínima até 1°C, em função do compartimento.
- Considerando o funcionamento de um sistema de aquecimento e observando o Quadro 4.18, constata-se que a melhoria da qualidade térmica destes vãos diminui o coeficiente de transmissão térmica de 3,30 para 2W/m<sup>2</sup>.°C, reduzindo substancialmente as perdas de calor para o exterior em 3.654kWh/ano, potenciando a conservação dos ganhos internos e solares.
- A impossibilidade de aumentar a oclusão dos vãos envidraçados durante o período de inverno implicou o registo de temperaturas muito elevadas (cerca de 30°C) nos compartimentos em estudo para os meses de abril e maio. Este fenómeno possibilitou compreender a enorme importância do controlo dos ganhos solares na obtenção de conforto térmico para o interior dos compartimentos.

Sobre a otimização da envolvente do edifício em estudo:

- A solução proposta pelo autor gera benefícios para o conforto térmico no período de verão, principalmente no Quarto 2, que mesmo no edifício reabilitado registava temperaturas superiores a 25 °C. Esta permite ainda que o pico máximo de temperatura seja diminuído de 26,4 para 24,8°C. Também a Sala 1 e o Escritório registam reduções nos picos de temperatura máxima em 0,6 e 0,3°C, respetivamente.
- No inverno, o maior isolamento da envolvente permite uma subida geral da temperatura no interior dos compartimentos em estudo. Os picos de temperatura mínima aumentam ligeiramente para o Escritório e o Quarto 2 em 0,3°C e 1,5°C, respetivamente.
- Aquecendo o ambiente interior no período de inverno, a solução proposta é bastante mais eficiente, permitindo uma diminuição anual das perdas em 3.008kWh.

Sobre a avaliação da influência das condições de utilização do edifício em estudo:

- A ventilação do edifício influencia de modo determinante o consumo energético para aquecimento. Para o edifício em estudo, o aumento de ventilação do nível VT1 para o nível VT3 resulta num aumento do consumo energético em 50%. Na estação climática de verão, o aumento da ventilação permite um maior conforto, por reduzir o sobreaquecimento no interior dos compartimentos.
- O aumento do nível de ocupação, que por sua vez implica o aumento dos ganhos internos, conduz a temperaturas mais elevadas em qualquer altura do ano simulado, podendo gerar um maior ou menor conforto, em função do período do dia e estação climática em que ocorre. No edifício em estudo, o aumento do nível de ocupação do nível A1 para A2 resulta numa diminuição das necessidades energéticas em quase 29%.

## 5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No seguimento deste estudo, poderão ser desenvolvidas outras ações no âmbito do desempenho de conforto e energético de edifícios de habitação:

- Desenvolvimento de um modelo de cálculo que para cada solução construtiva, ensaia todo o edifício sob várias condições de utilização, apresentando os respetivos resultados, e os interprete, identificando qual a melhor solução construtiva em função de objetivos, definidos inicialmente. Assim, a avaliação de uma solução de intervenção não será restrita apenas a três compartimentos, mas sim a todos os compartimentos que compõem o edifício e de forma célere.

A determinação das soluções construtivas que permitem otimizar a envolvente pode exigir a realização de um número muito elevado de simulações, significando bastante dificuldade e morosidade em todo o processo de seleção. Assim, um novo modelo poderia submeter de modo automático cada solução a um conjunto variado de condições de utilização, gerindo os seus resultados, apresentando no fim qual a melhor solução.

- Recurso a uma ferramenta informática que quantifique outros indicadores de conforto térmico para cada compartimento, para uma melhor avaliação do conforto térmico, por exemplo, a humidade relativa interior.
- Estudo da influência das condições climáticas sobre a determinação das soluções construtivas para a otimização da envolvente.
- Estudo da alteração da disposição dos vãos envidraçados pela envolvente. A maioria dos vãos envidraçados do edifício analisado estão instalados nas fachadas orientadas a Oeste e Este, estando sujeitas a intensa radiação solar durante a estação de arrefecimento, enquanto durante a estação de aquecimento é na orientação Sul que existe a maior incidência solar. Considerar a diminuição da área envidraçada orientada a Oeste e Este, aumentando na orientação a Sul, de modo a perceber se existem benefícios para o conforto e para o consumo de energia.





## BIBLIOGRAFIA

- [1] Nascimento, Carlos M. de Sousa. *A certificação energética de edifícios comemorou o seu primeiro ano de vida*. Revista Ingenium 2008 Maio; 105:24-26
- [2] European Commission (EU). *EU energy and transport in figures*. Statistical Pocketbook 2010 [edição online] Luxemburgo: Publications Office of the European Union; 2010:35 [citado 8 Setembro 2011]. Disponível na European Commission: [http://ec.europa.eu/energy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/index_en.htm) ISBN 978-92-79-13815-7.
- [3] Instituto Nacional de Estatística (INE). *Consumo de energia no sector doméstico 2010*. INE I.P. [edição online] Direcção Geral de Energia e Geologia, 20 Julho 2011 [citado 8 Setembro 2011]. Disponível na Direcção Geral de Energia e Geologia: <http://www.dgge.pt/>
- [4] Pinho, Paulo M. *Planeamento da habitação* [Exposição de aula teórica]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2 Março 2011.
- [5] Instituto Nacional de Estatística (INE). *Estatísticas da construção e habitação 2010*. INE, I.P. [edição online] Lisboa: INE, I.P., 2011 [citado 8 Setembro 2011]. Disponível INE: <http://www.ine.pt/> ISBN 978-989-25-0114-7.
- [6] Instituto Nacional de Estatística (INE). *Anuário estatístico de Portugal 2009*. INE, I.P. [edição online] Lisboa: INE, I.P., 2010 [citado 8 Setembro 2011]. Disponível no INE: <http://www.ine.pt/> ISBN 978-989-25-0047-8.
- [7] Direcção Geral de Energia e Geologia. *Energia em Portugal: principais números* [edição online] Abril 2011 [citado 8 Setembro 2011]. Disponível na Direcção Geral de Energia e Geologia: <http://www.dgge.pt/>
- [8] Freitas, Vasco P. *Implicações construtivas do novo RCCTE na concepção de paredes de alvenaria*. Seminário sobre paredes de alvenaria (Lourenço, Paulo B.), 2007, LNEC, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.
- [9] Instituto Nacional de Estatística (INE). *Censos 2001: resultados definitivos*. INE, I.P. [edição online] Lisboa: INE, I.P., 2002 [citado 8 Setembro 2011]. Disponível no INE: <http://www.ine.pt/> ISBN 972-673-610-2.
- [10] Piedade, António C; Rodrigues, António M; Roriz, Luis F. *Climatização de edifícios: Envolvente e comportamento térmico*. Amadora: Orion, 2000.
- [11] International Organization for Standardization. ISO 7730:2005(E). *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of the thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. 15 Novembro 2005.
- [12] Matias, Luís; Santos, Pina C. *Conforto térmico sustentável no sector residencial*. Construção Magazine 2010; 35:14-18
- [13] Frota, Anésia B; Schiffer, Sueli R. *Manual de Conforto Térmico*. 5.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Studio Nobel; 2001.
- [14] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Decreto-Lei n.º 80/2006. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Diário da República, 1.<sup>a</sup> ser. A, 4 Abril 2006; 67:2468-2513.

- [15] Ministère de L'Emploi, de la Cohésion Sociale et du Logement. Arrêté du 24 Mai 2006. *Caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments*. Journal Officiel de la République Française, 25 Mai 2006;14.
- [16] Freitas VP, Guimarães AS, Ferreira CM, et al. *Edifícios existentes: medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior*. Portugal: ADENE – Agência para a Energia; 2010. ISBN 978-972-8646-16-5.
- [17] Silva, Manuel A. *Metodologia para a definição exigencial de isolantes térmicos* [Dissertação de Mestrado]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 1996.
- [18] Oliveira, Armando C. *Método simplificado para avaliação do comportamento térmico de edifícios solares passivos* [Dissertação de Doutoramento]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 1989.
- [19] Almeida, Maria M. *Caracterização da inércia térmica de paredes maciças* [Dissertação Mestrado]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 1987.
- [20] Oliveira, António M. *Avaliação da qualidade térmica de edifícios: proposta de indicadores para o projecto* [Dissertação de Mestrado]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2007.
- [21] Simões, Fausto. *Revestimentos de paredes e isolamento térmico: isolamento e inércia*. Construção Magazine 2009; 32:30-34
- [22] Brito, Mariana C. *Reabilitação de fachadas e o seu contributo energético: caso de estudo de um hotel em Lisboa* [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa; 2010.
- [23] Moita, Francisco. *Energia solar passiva*. Direcção-Geral de Energia. Lisboa: Imprensa Nacional – Casa da Moeda; Julho 1985.
- [24] Ferreira, Tiago M. *Sobre a utilização do sistema de isolamento térmico pelo interior em edifícios residenciais em Portugal: análise do desempenho higrotérmico* [Dissertação de Mestrado]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2006.
- [25] Paiva, José; Aguiar, José; Pinho, Ana. *Guia técnico de reabilitação habitacional*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil; 2006. ISBN 978-972-49-2081-8.
- [26] Hegger M, Fuchs M, Stark T, et al. *Construction et énergie: architecture et développement durable*. France: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes; 2011. ISBN 978-2-88074-796-1.
- [27] Sirgado, Jorge F. *Análise do impacte dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios* [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa; 2010.
- [31] Ministère de L'Emploi, de la Cohésion Sociale et du Logement. Arrêté du 9 Novembre 2006. *Approbation de diverses méthodes de calcul pour le diagnostic de performance énergétique en France métropolitaine*. Journal Officiel de la République Française, 30 Décembre 2006;1.
- [32] Izuba Énergies. Logiciel Pleaides Comfie [citado em 23 Outubro 2011]. Disponível em Izuba Énergies: <http://www.izuba.fr/logiciel>
- [33] Peuportier, Bruno; Sommereux, Isabelle. *Comfie: a software for passive solar design* [edição online] Paris: Centre d'Energétique de l'École de Mines, 1991 [citado 23 Outubro 2011]. Disponível no International Building Performance Simulation Association: <http://www.ibpsa.org/>
- [34] Silva, Nélson T. *Incorporação de materiais de mudança de fase em materiais de construção* [Dissertação de Mestrado]. Escola de Engenharia da Universidade do Minho; 2009.

[35] Nascimento, Bruno F. *Conforto de verão – Quantificação da temperatura máxima atingida num compartimento* [Relatório Final]. Colégio de Engenharia Civil da Ordem dos Engenheiros – Região Norte; 2011.

[36] Abrantes, Vitor T. *Análise numérica e experimental do comportamento térmico de coberturas com desvão* [Dissertação de Doutoramento]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 1984.



# Anexos

## ANEXO I – SCREENSHOTS DO PROGRAMA PLEAIDES 3.0.5.5

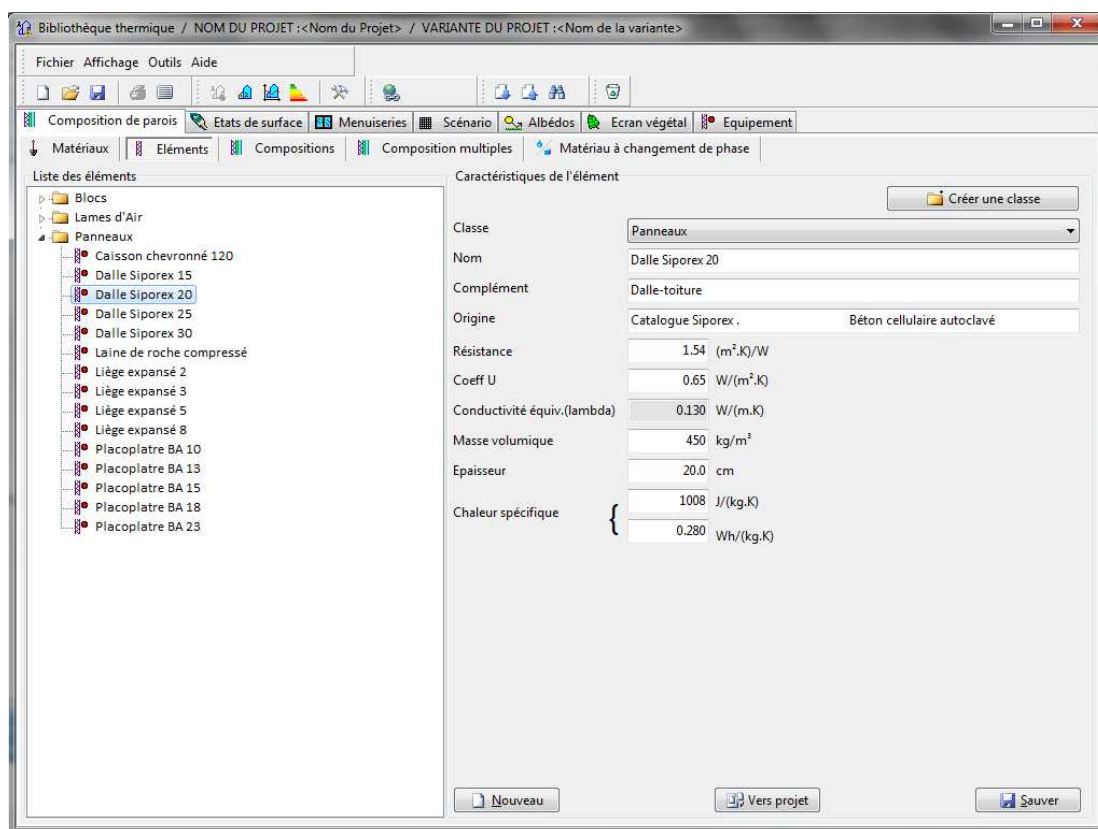


Figura I.1 – Janela de aplicação *Eléments* do menu *Composition de Parois*

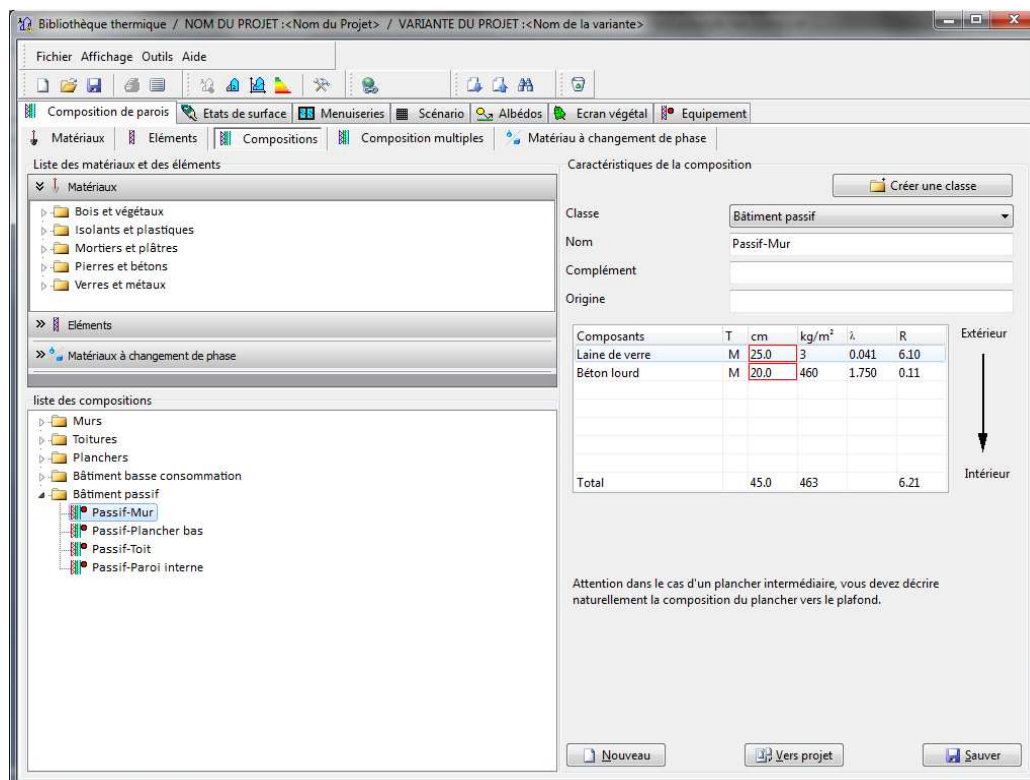


Figura I.2 – Janela de aplicação Compositions do menu *Composition de Parois*

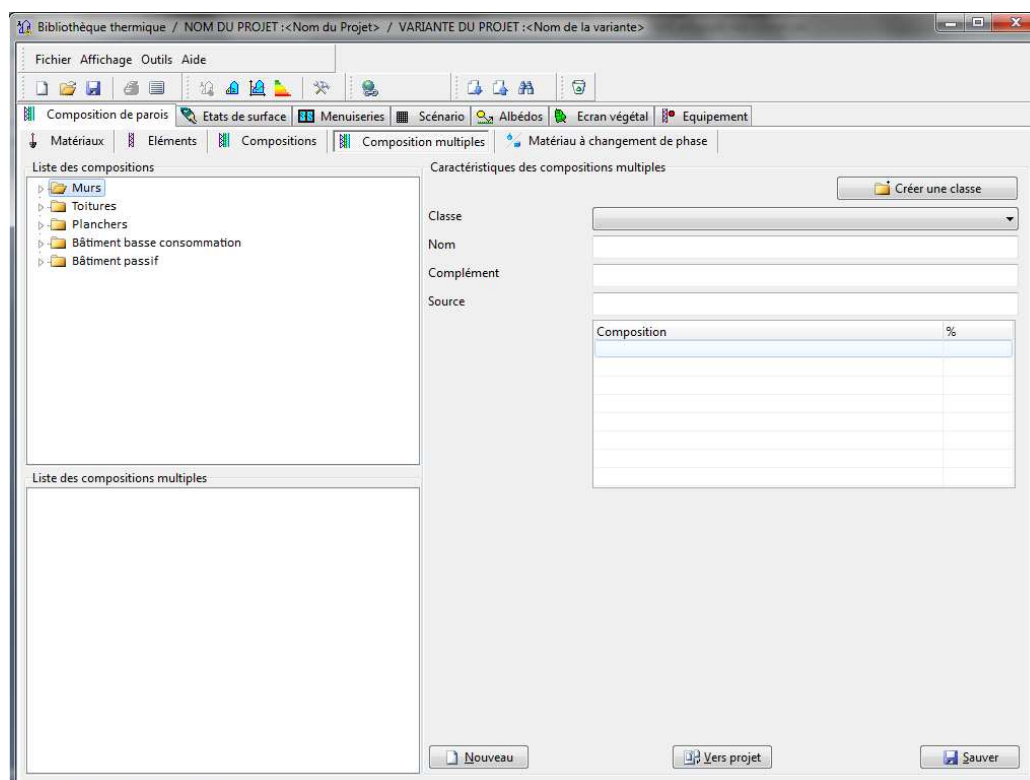


Figura I.3 – Janela de aplicação *Composition Multiples* do menu *Composition de Parois*

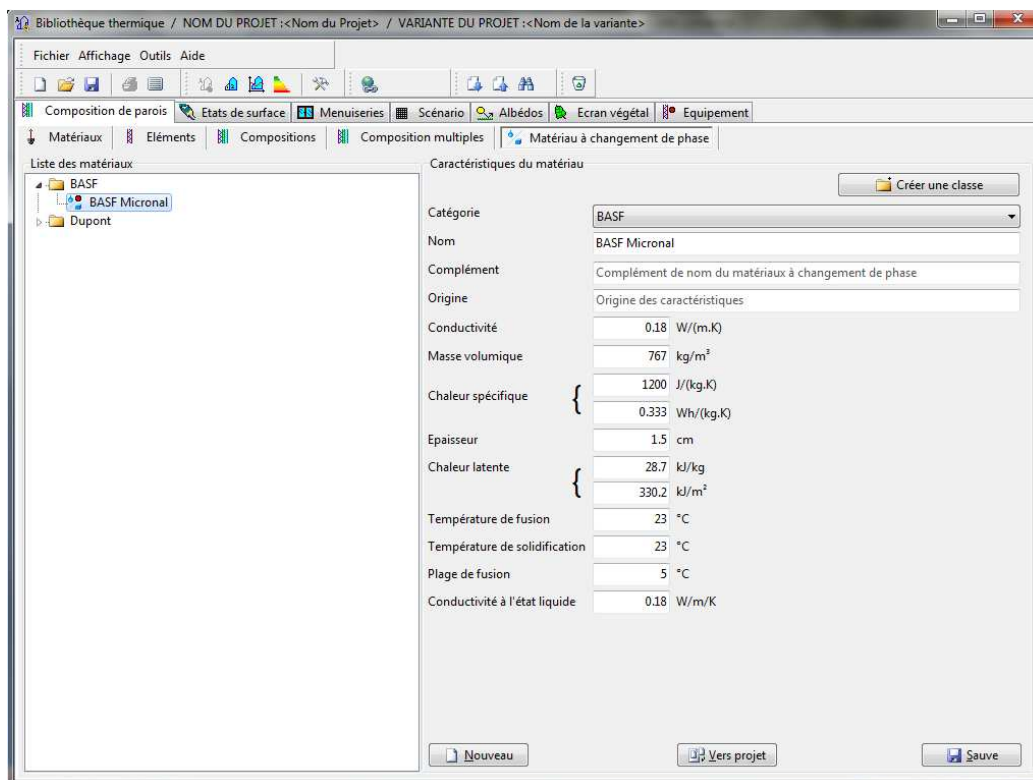


Figura I.4 – Janela de aplicação *Matériau à Changement de Phase* do menu *Composition de Pairs*

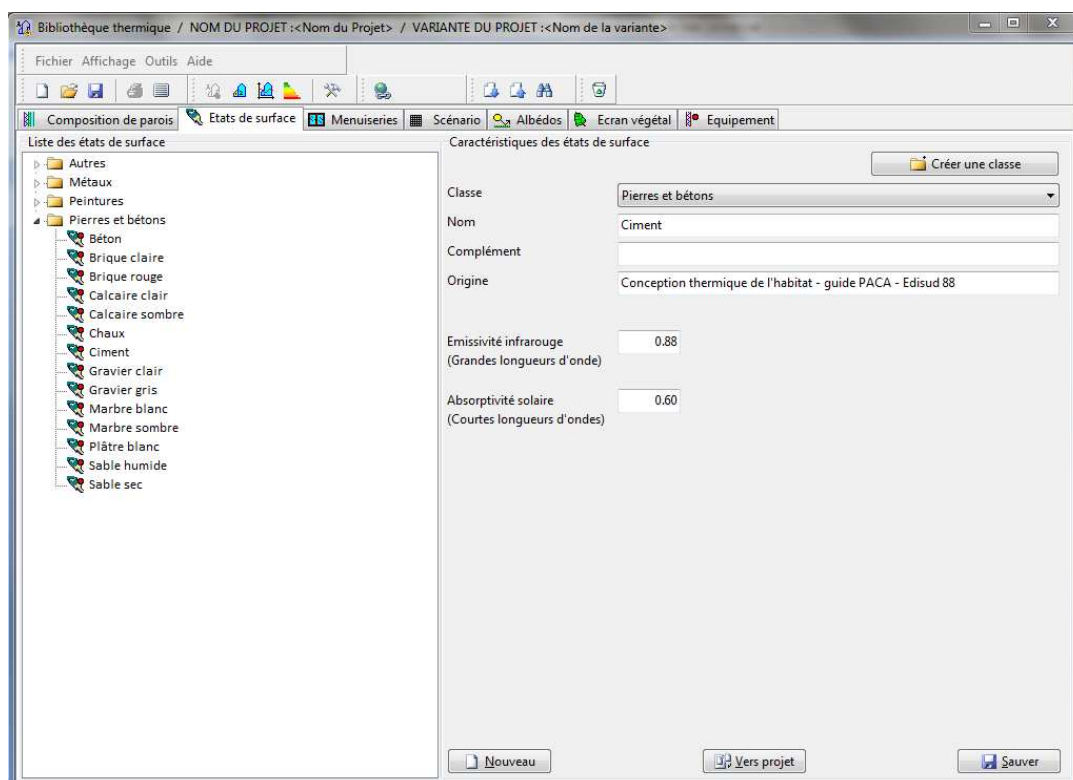


Figura I.5 – Janela de aplicação do menu *Etats de Surface*

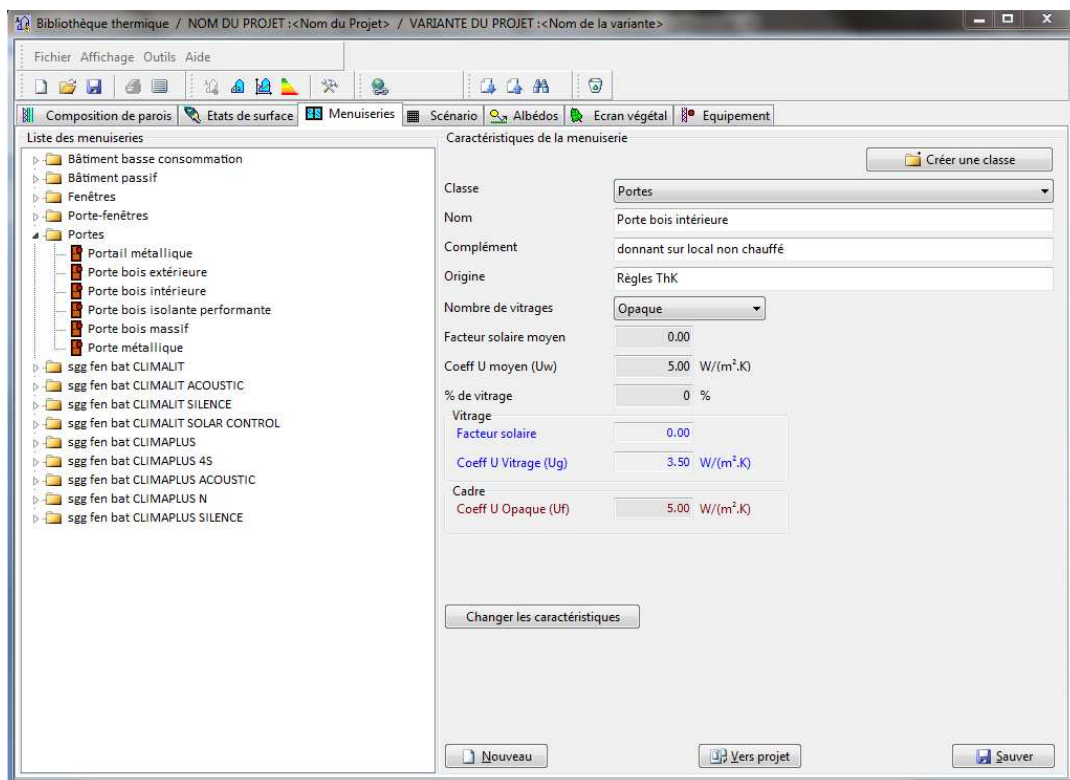


Figura I.6 – Janela de aplicação do menu *Menuiseries*

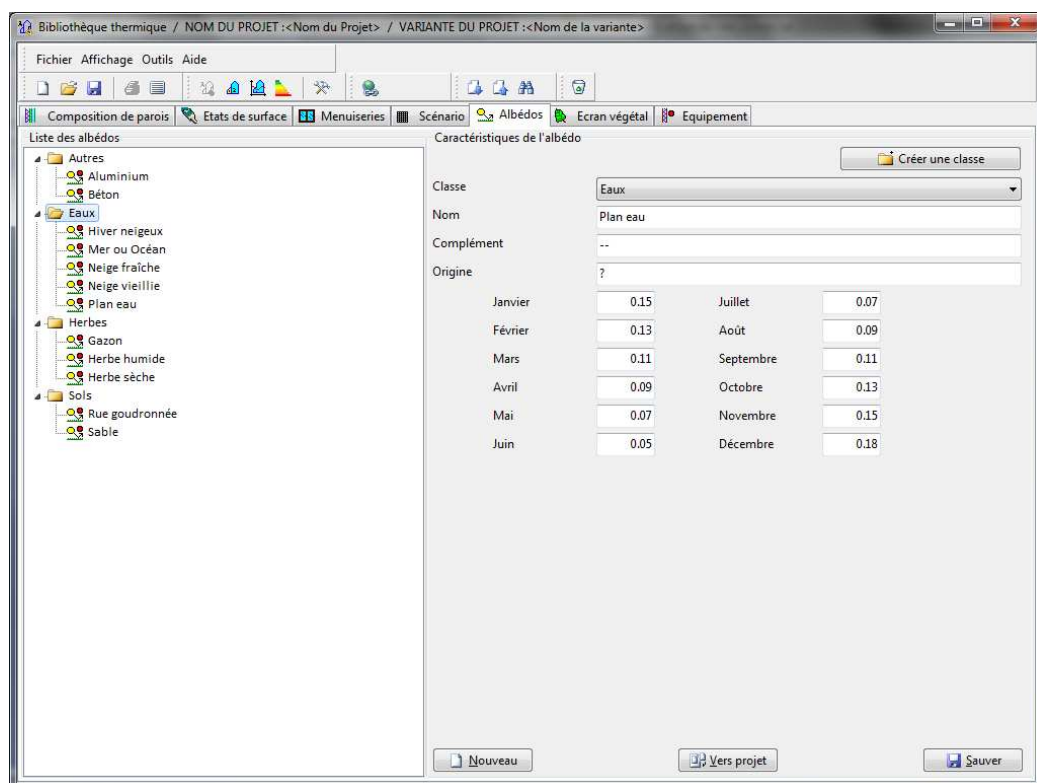


Figura I.7 – Janela de aplicação do menu *Albédos*



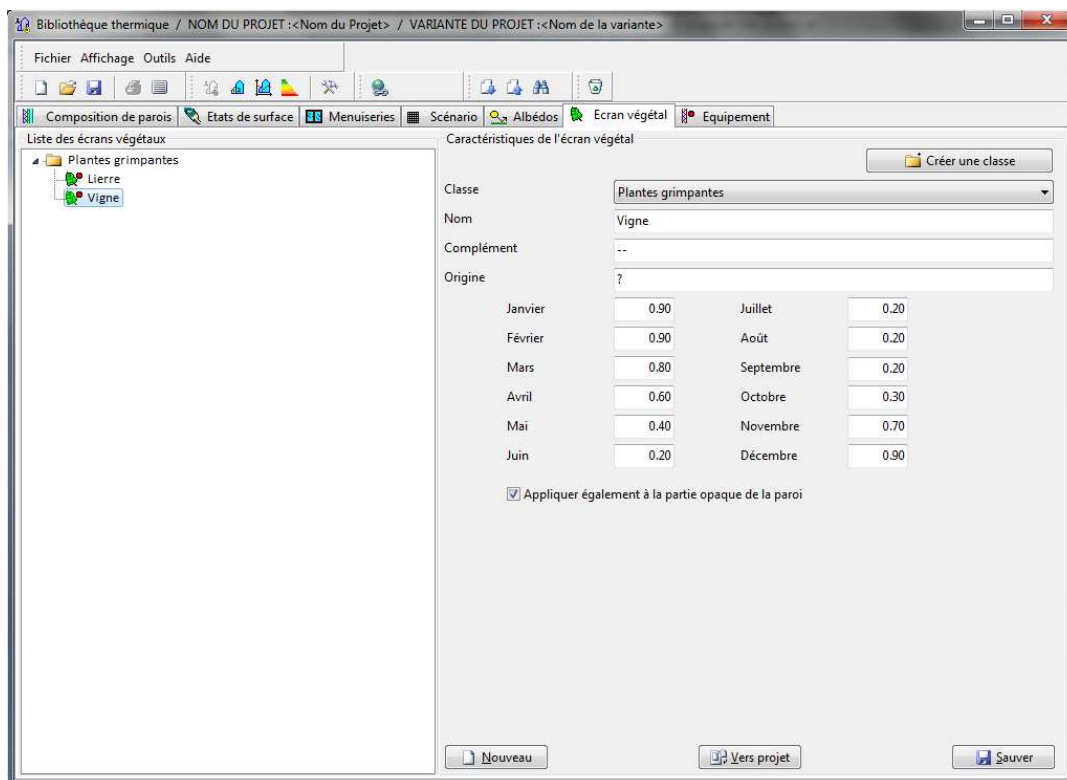


Figura I.8 – Janela de aplicação do menu *Ecran Végétal*

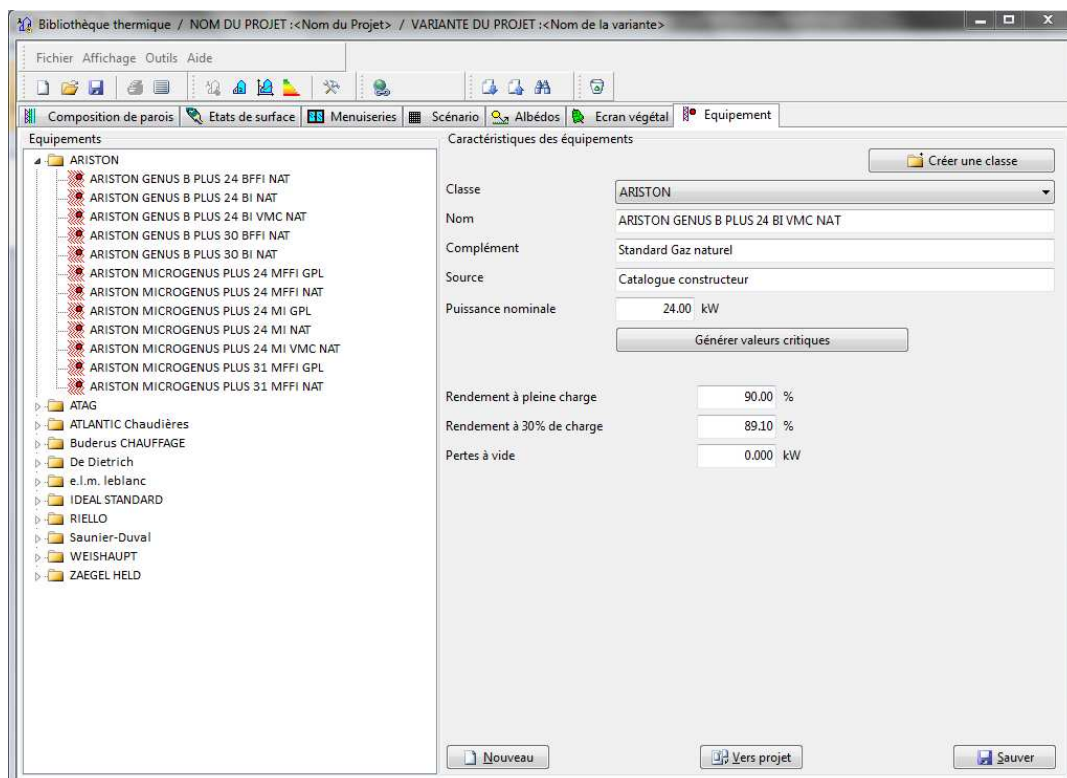


Figura I.9 – Janela de aplicação do menu *Equipement*

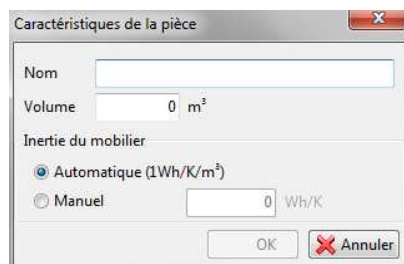


Figura I.10 – Janela accionada no menu Pièces et Contacts

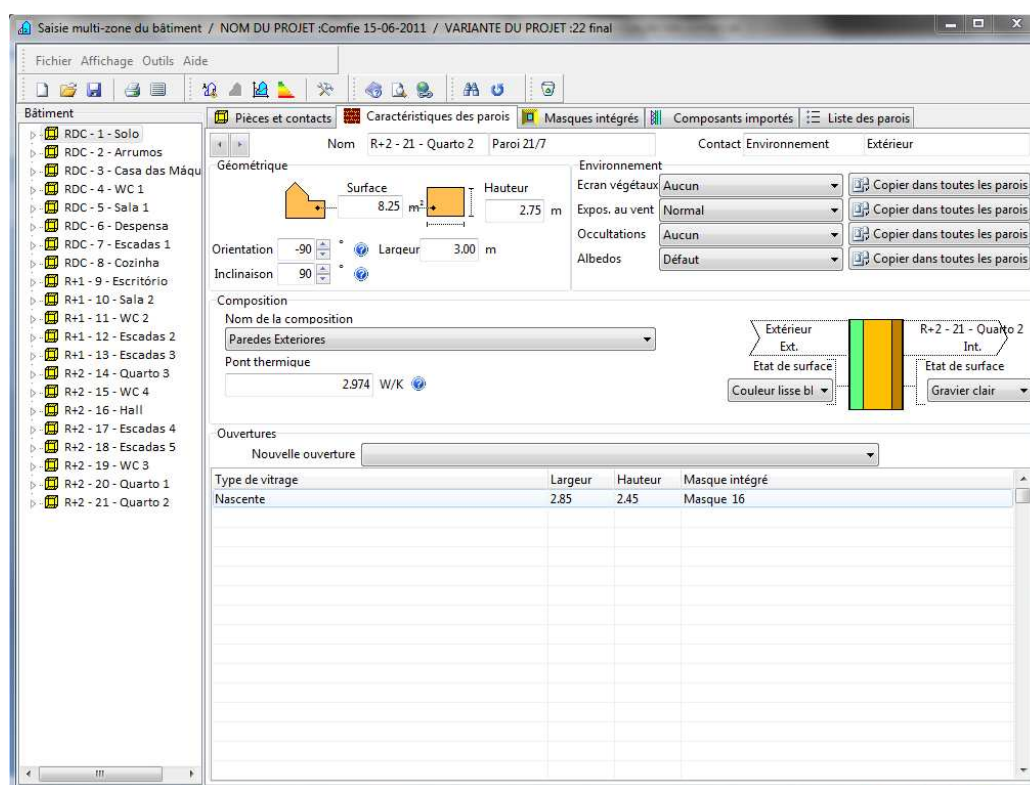


Figura I.11 – Janela de aplicação do menu *Caractéristiques des Parois*

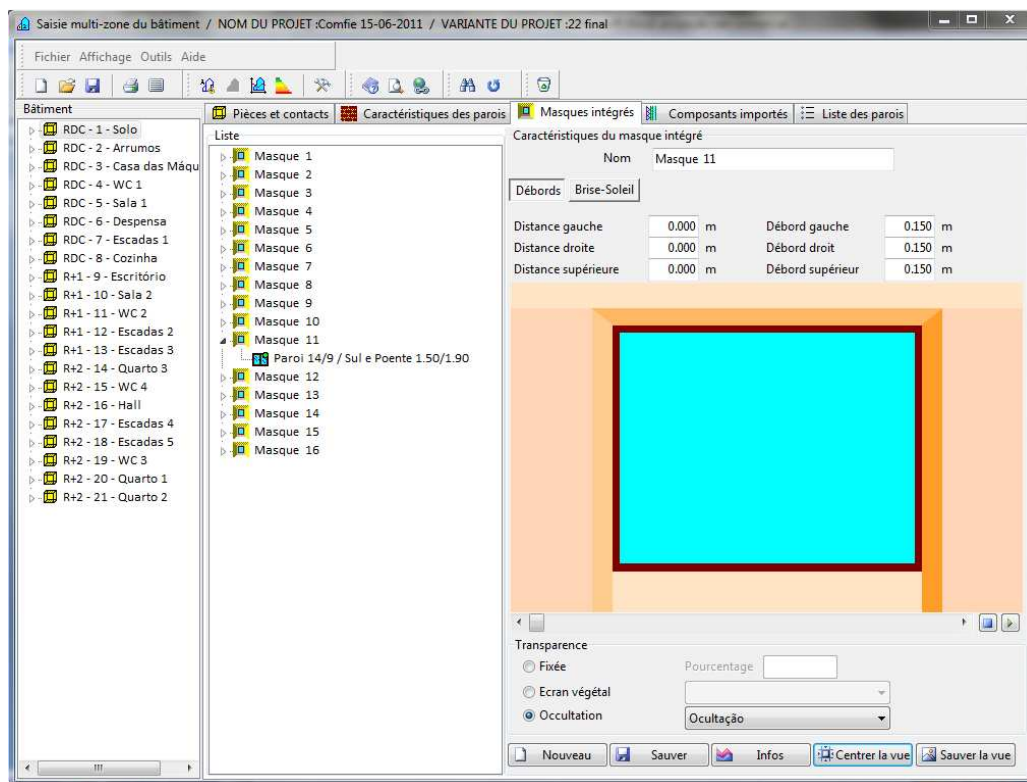


Figura I.12 – Janela de aplicação *Débords* do menu *Masques Intégrés*

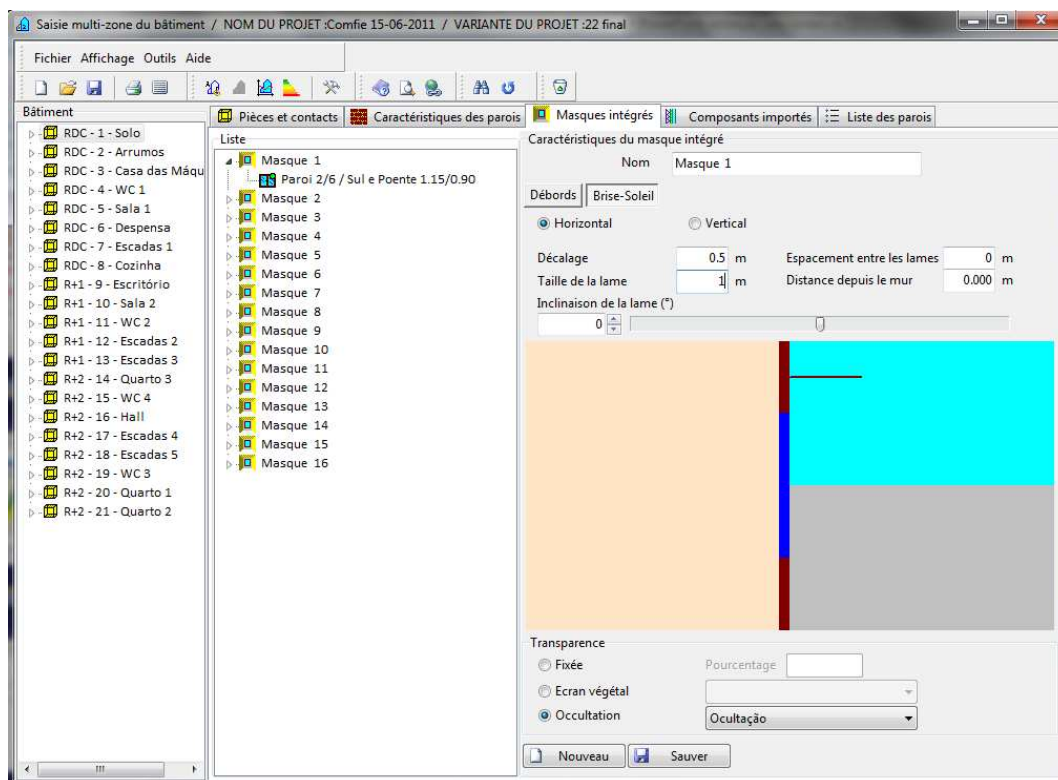


Figura I.13 – Janela de aplicação do submenu *Brise-Soleil* do menu *Masques Intégrés*

Saisie multi-zone du bâtiment / NOM DU PROJET :Comfie 15-06-2011 / VARIANTE DU PROJET :22 final

Fichier Affichage Outils Aide

Pièces et contacts Caractéristiques des parois Masques intégrés Composants importés Liste des parois

Nom de la pièce	Nom de la paroi	Contact	Surface	Orientat	Incli.	F	ES	ES	Composition
RDC - 1 - Solo	Plancher 1/1	Sol	47.48	0	180	0	Marbre		Pavimento térreo
RDC - 1 - Solo	Toiture 1/2	Extérieur	47.50	0	0	0	Peintur Brique		Cobertura
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/3	Extérieur	17.08	4	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/4	Extérieur	8.18	-90	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/5	Extérieur	0.36	-1	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/6	Extérieur	6.89	-90	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/7	Extérieur	4.17	180	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/8	Extérieur	3.64	-90	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/9	Sol	2.30	180	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/10	Sol	2.58	-90	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/11	Sol	2.30	0	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/12	Extérieur	3.47	-90	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/13	Extérieur	13.19	180	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 1 - Solo	Paroi 1/14	Extérieur	23.72	90	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 2 - Arrumos	Plancher 2/1	Sol	11.70	0	180	0	Marbre		Pavimento térreo
RDC - 2 - Arrumos	Plafond Int.2/2	R+1 - 9 - Escritório / Plancher	10.30	0	0	0	Peintur Marbre		Pavimento intermédio
RDC - 2 - Arrumos	Plafond Int.2/3	R+1 - 10 - Sala 2 / Plancher Ir	0.80	0	0	0	Peintur Marbre		Pavimento intermédio
RDC - 2 - Arrumos	Plafond Int.2/4	R+1 - 11 - WC 2 / Plancher In	0.60	0	0	0	Peintur Marbre		Pavimento intermédio
RDC - 2 - Arrumos	Paroi 2/5	Sol	3.44	90	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 2 - Arrumos	Paroi 2/6	Extérieur	2.66	90	90	1	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 2 - Arrumos	Paroi 2/7	Sol	3.56	90	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 2 - Arrumos	Paroi 2/8	Sol	4.17	0	90	0	Gravier Coules		Paredes Exteriores
RDC - 2 - Arrumos	Paroi 2/9	RDC - 4 - WC 1 / Paroi 4/6	4.09	0	90	0	Gravier Gravier		Paredes Interiores
RDC - 2 - Arrumos	Paroi 2/10	RDC - 5 - Sala 1 / Paroi 5/5	2.52	-90	90	1	Gravier Gravier		Paredes Interiores
RDC - 2 - Arrumos	Paroi 2/11	RDC - 5 - Sala 1 / Paroi 5/16	1.68	-90	90	0	Gravier Gravier		Paredes Interiores

Rotation du bâtiment Exporter la liste

Figura I.14 – Janela de aplicação do menu *Liste des Parois*

Interface Comfie / NOM DU PROJET :Comfie 15-06-2011 / VARIANTE DU PROJET :22 final

Fichier Affichage Aide

Environnement Fonctionnement Simulation Sorties

Site et Météo Horizon Masques proches

Liste des stations météo

- \_France - RT2005
- \_France - Température de base
- \_France - TRY
- \_Grèce - TRY
- Canicule
- Por
- Porto

Station météo

Créer une classe

Classe

Por

Nom de la station

Porto

Nom du fichier

Porto.try

Parcourir

Altitude

74 m

Latitude

N 41 ° 9 ' 0 "

Longitude

E 8 ° 37 ' 12 "

Température du sol (Profondeur de 10 mètres)

17 °C

Heure solaire

Heure légale

GMT 0

Nouvelle station

Sauver la station

Caractéristiques du site

Nom du site

Porto

Altitude

74 m

Température du sol (Profondeur de 10 mètres)

17 °C

Figura I.15 – Janela de aplicação *Site et Météo* do menu *Environnement*



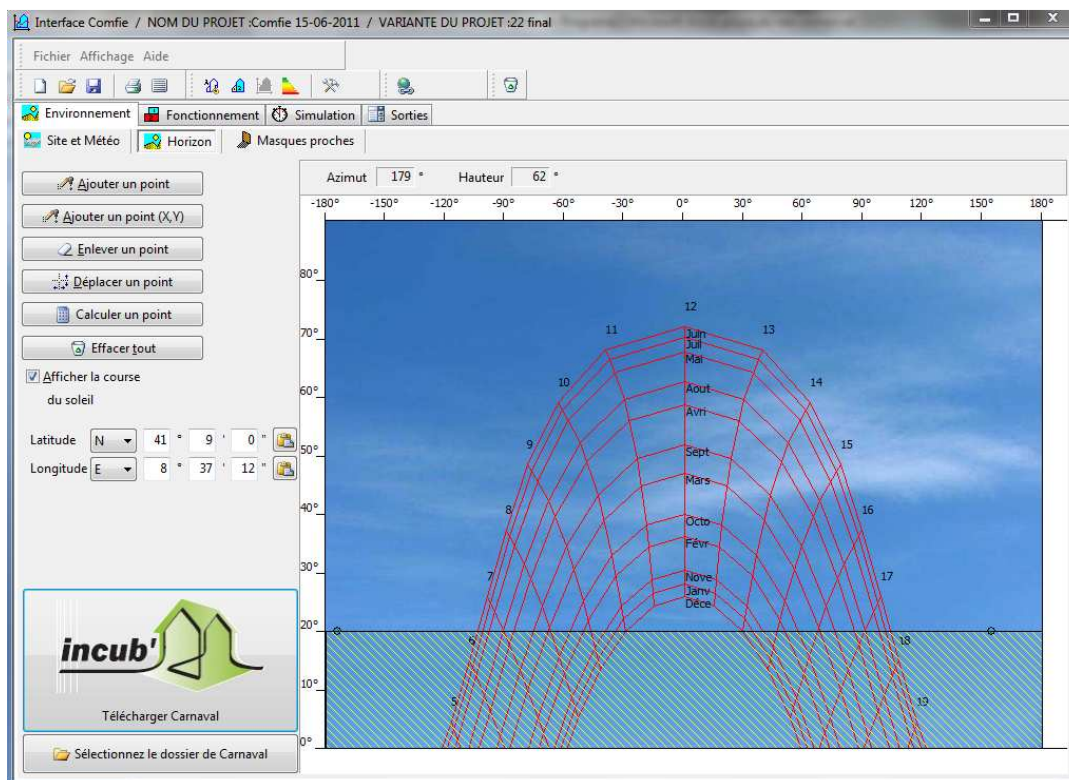


Figura I.16 – Janela de aplicação *Horizon* do menu *Environnement*

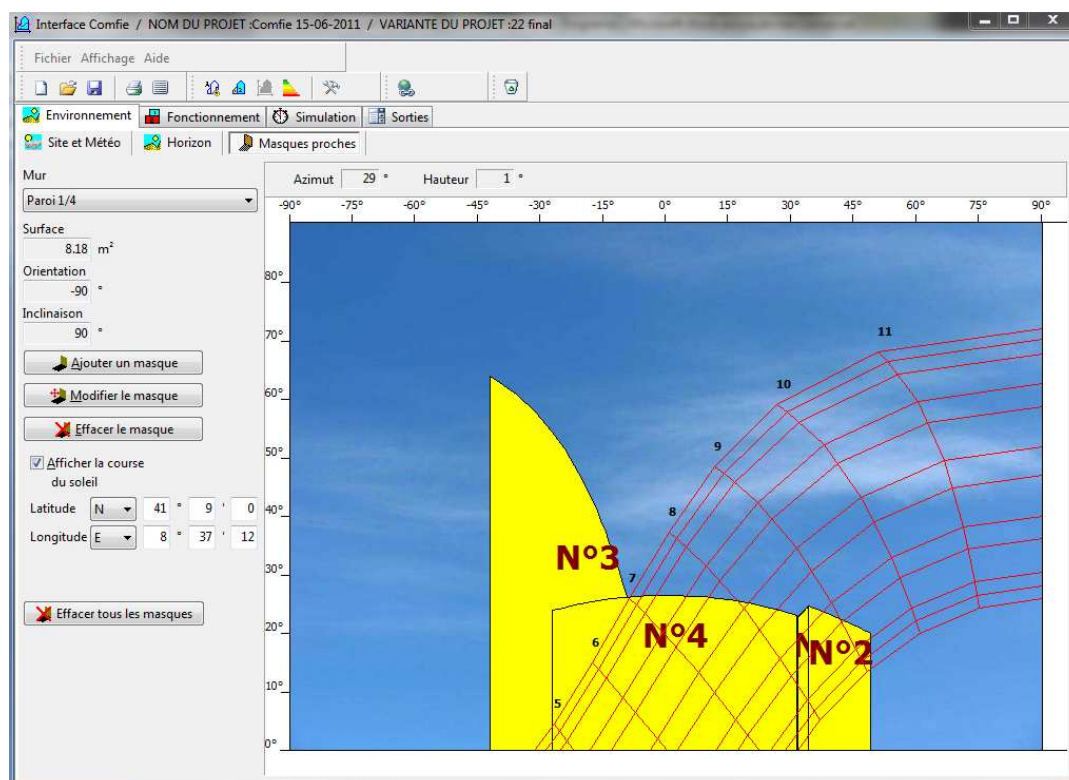


Figura I.17 – Janela de aplicação *Marques Proches* do menu *Environnement*

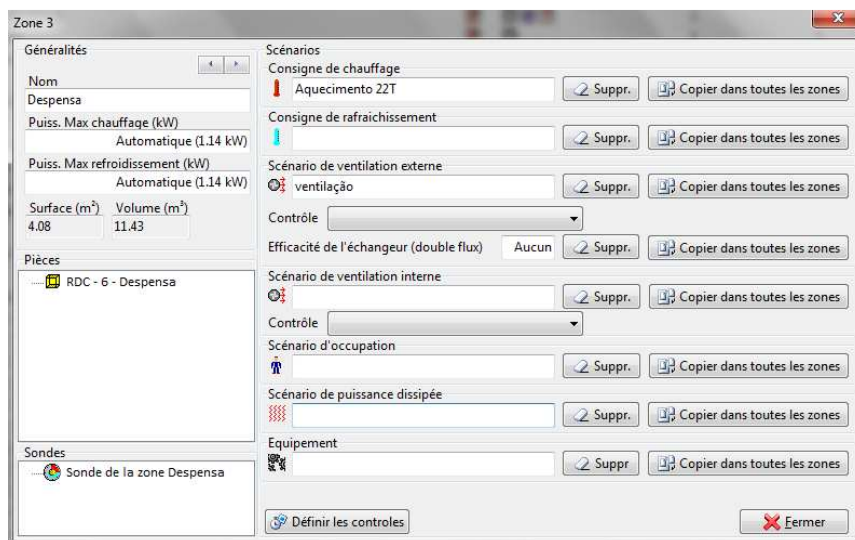


Figura I.18 – Janela de informação de zona térmica do submenu *Zones Thermiques*

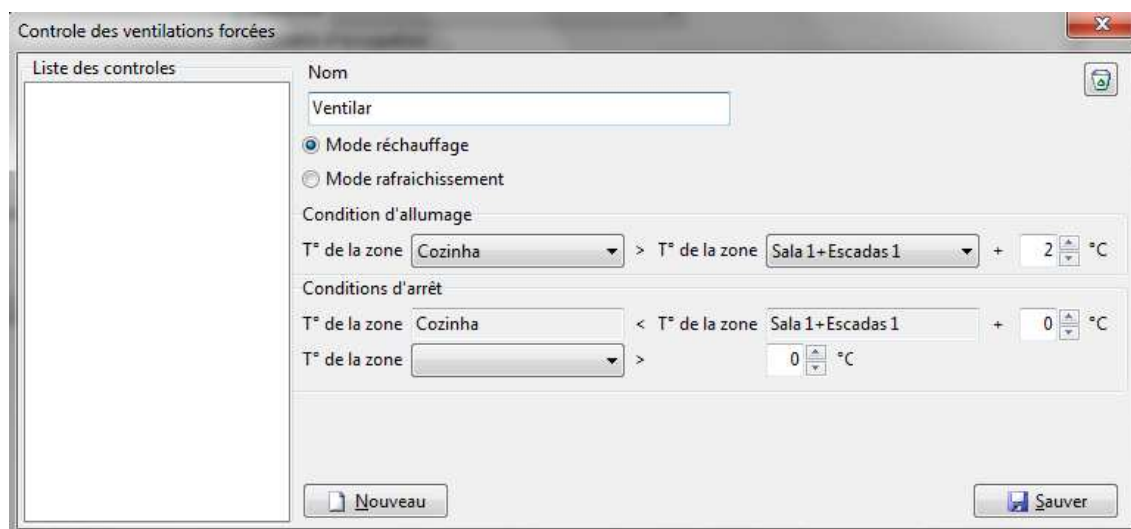


Figura I.19 – Janela de aplicação *Définir les Controles* do submenu *Zones Thermiques*

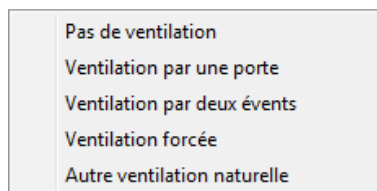


Figura I.20 – Janela de opções de ventilação interna entre espaços

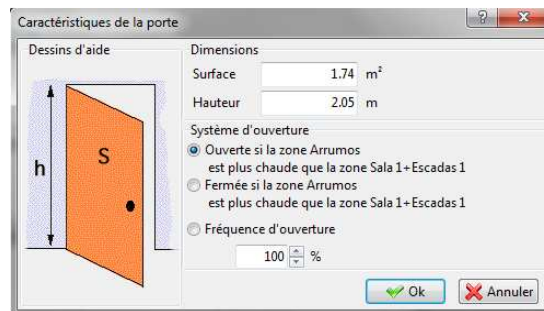


Figura I.21 – Janela de opção *Ventilation por Une Porte*

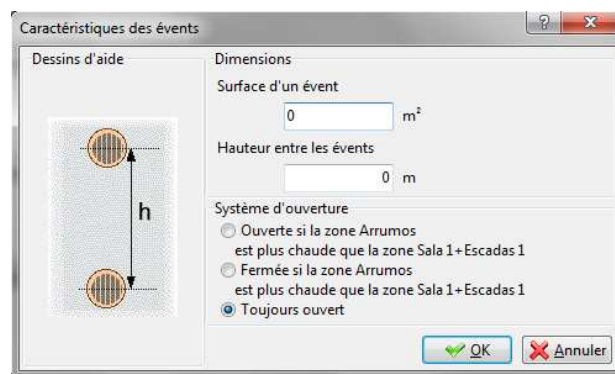


Figura I.22 – Janela de opção *Ventilation par Deux Événets*

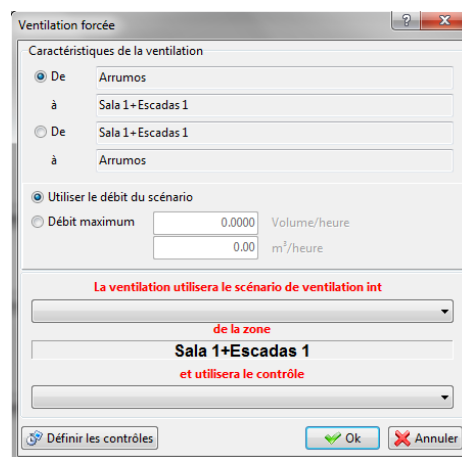


Figura I.23 – Janela de opção *Ventilation Forcée*



Figura I.24 – Janela de opção *Autre Ventilation Naturelle*

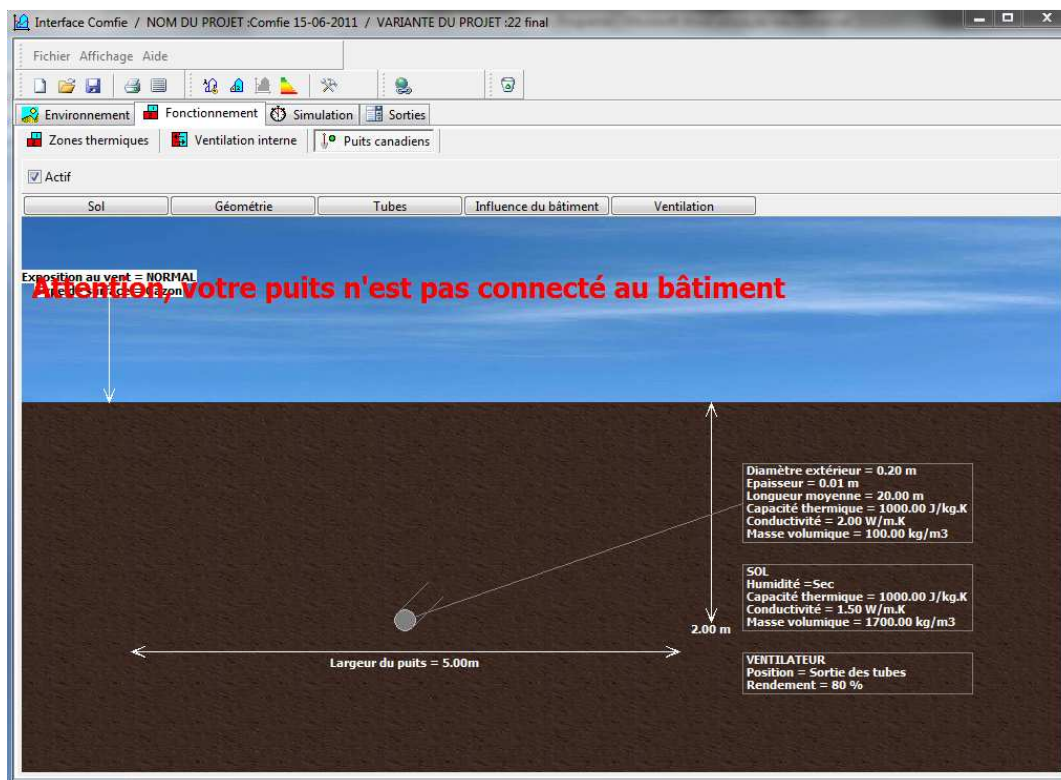


Figura I.25 – Janela de aplicação *Puit Canadiens* do menu *Fonctionnement*

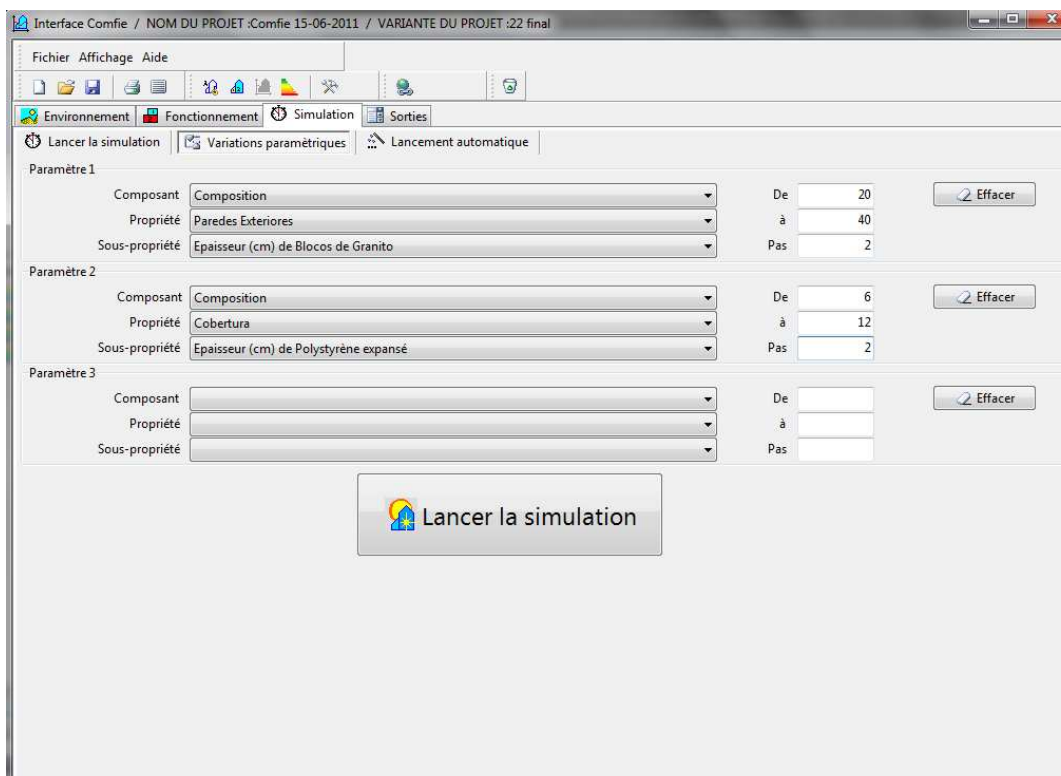


Figura I.26 – Janela de aplicação *Variations Paramétriques* do menu *Simulation*



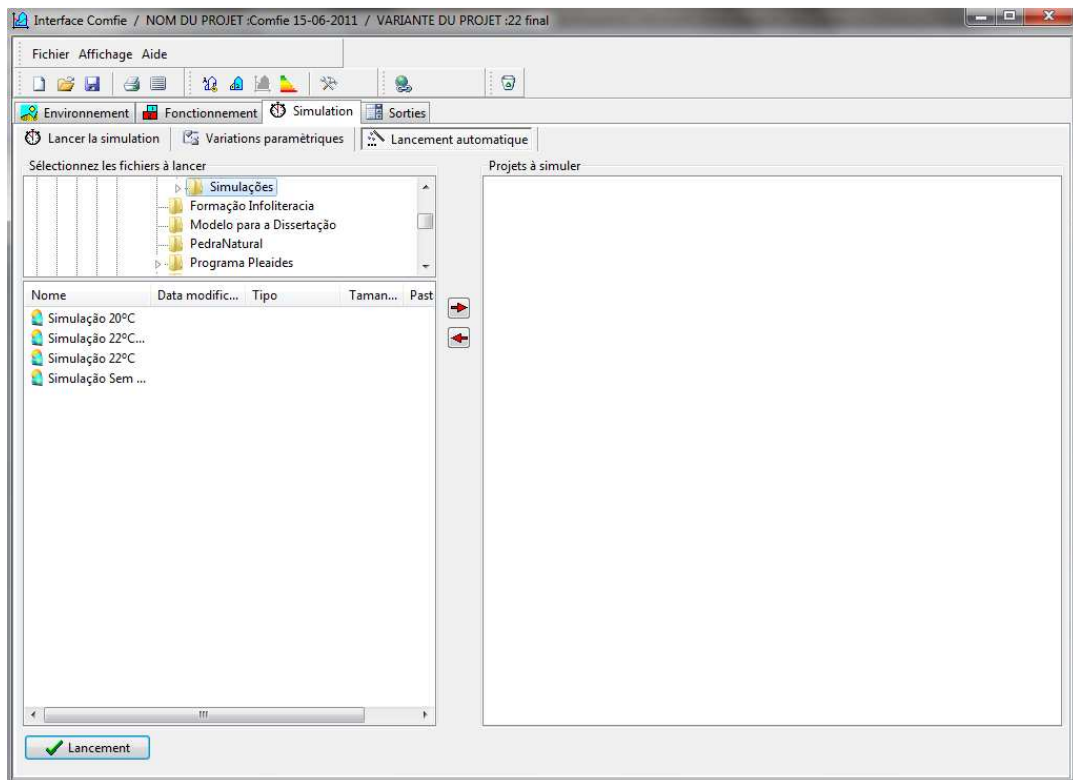


Figura I.27 – Janela de aplicação *Lancement Automatique* do menu *Simulation*

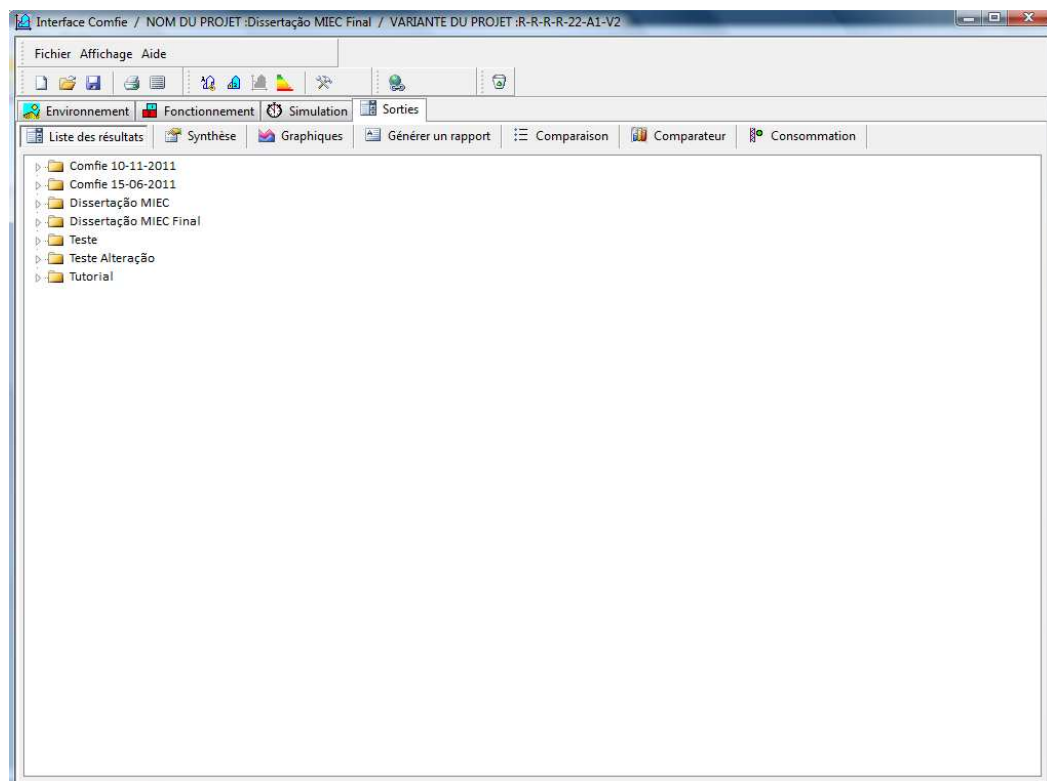


Figura I.28 – Janela de aplicação *Liste des Résultats* do menu *Sorties*

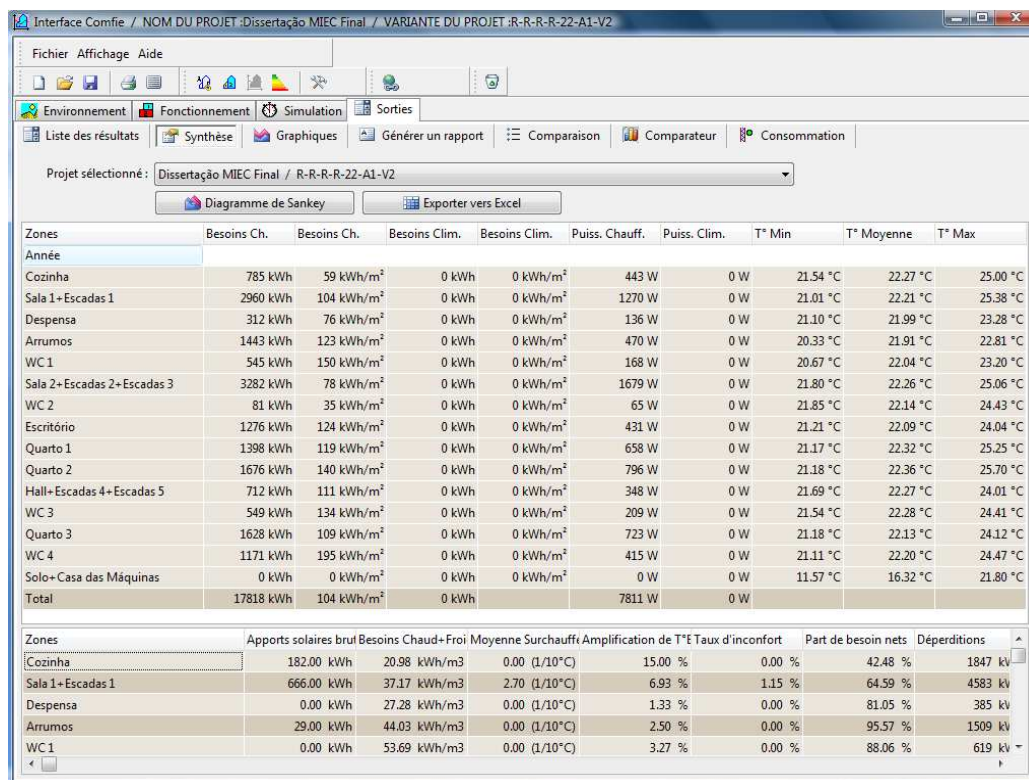


Figura I.29 – Janela de aplicação *Synthèse* do menu *Sorties*

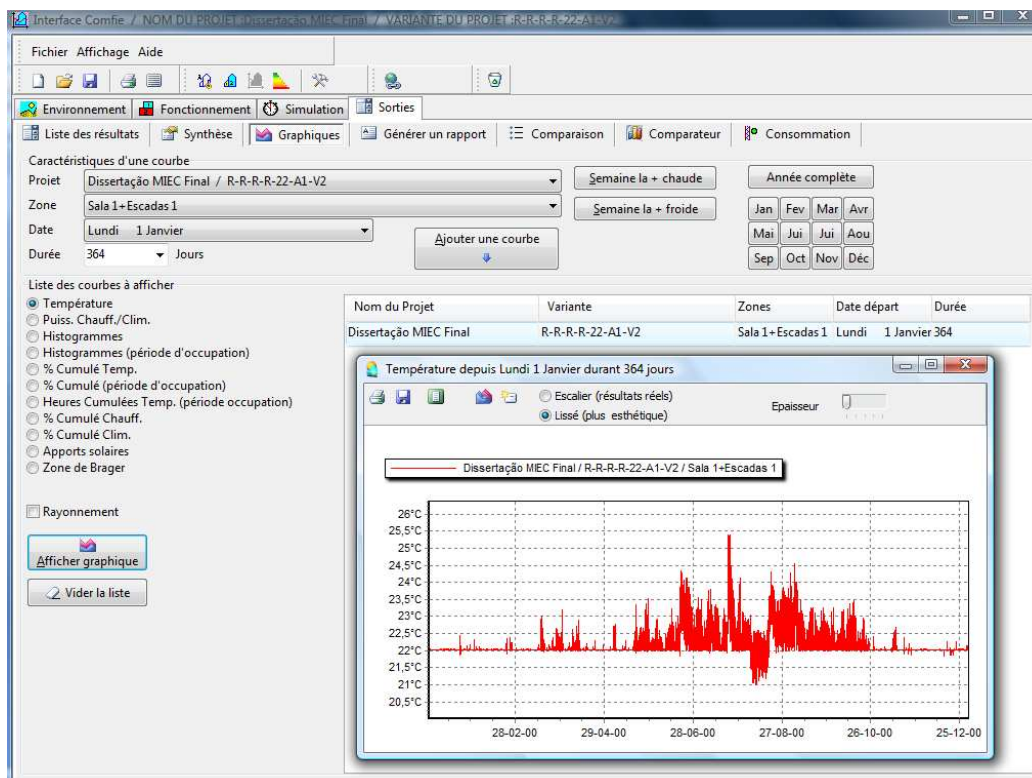


Figura I.30 – Janela de aplicação *Graphiques* do menu *Sorties*

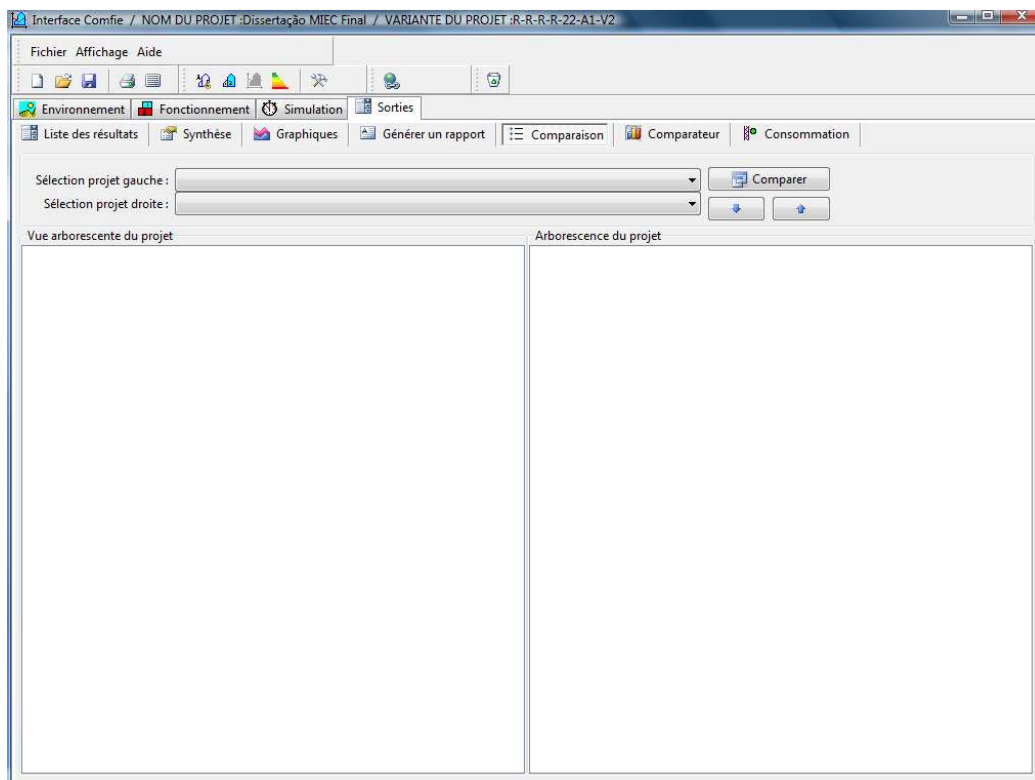


Figura I.31 – Janela de aplicação *Comparaison* do menu *Sorties*

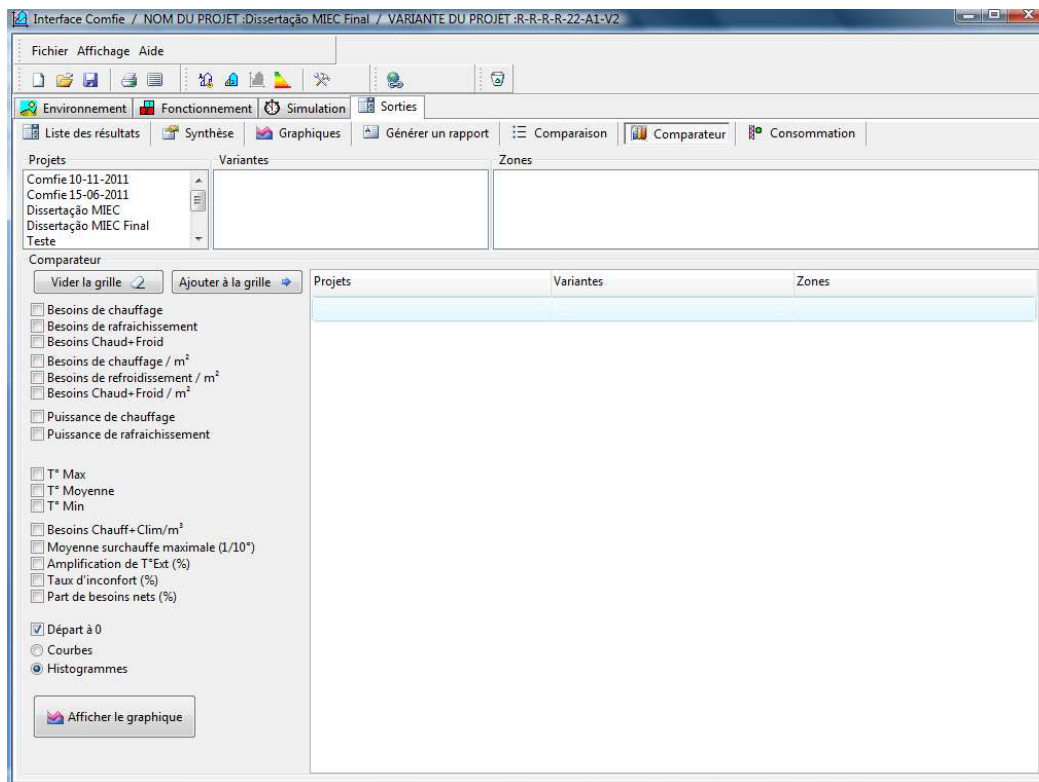
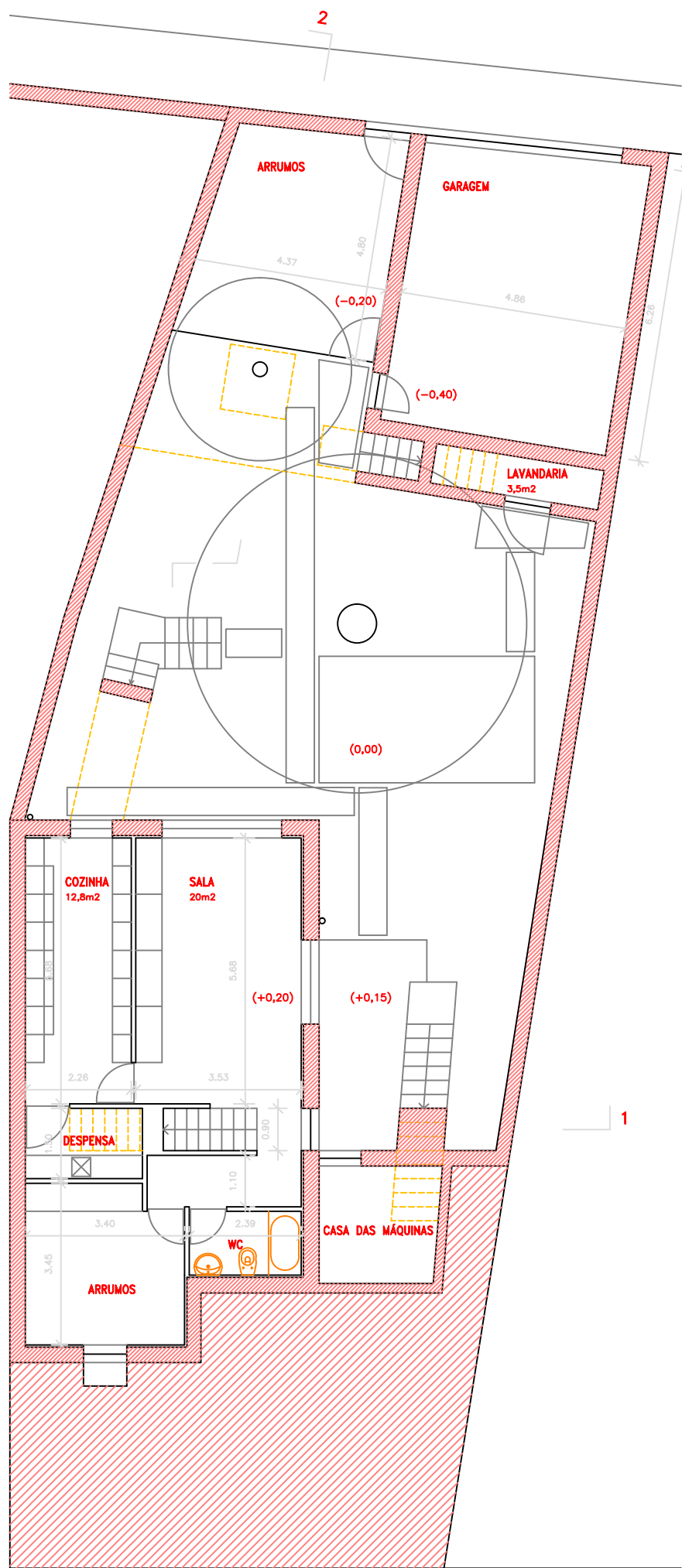
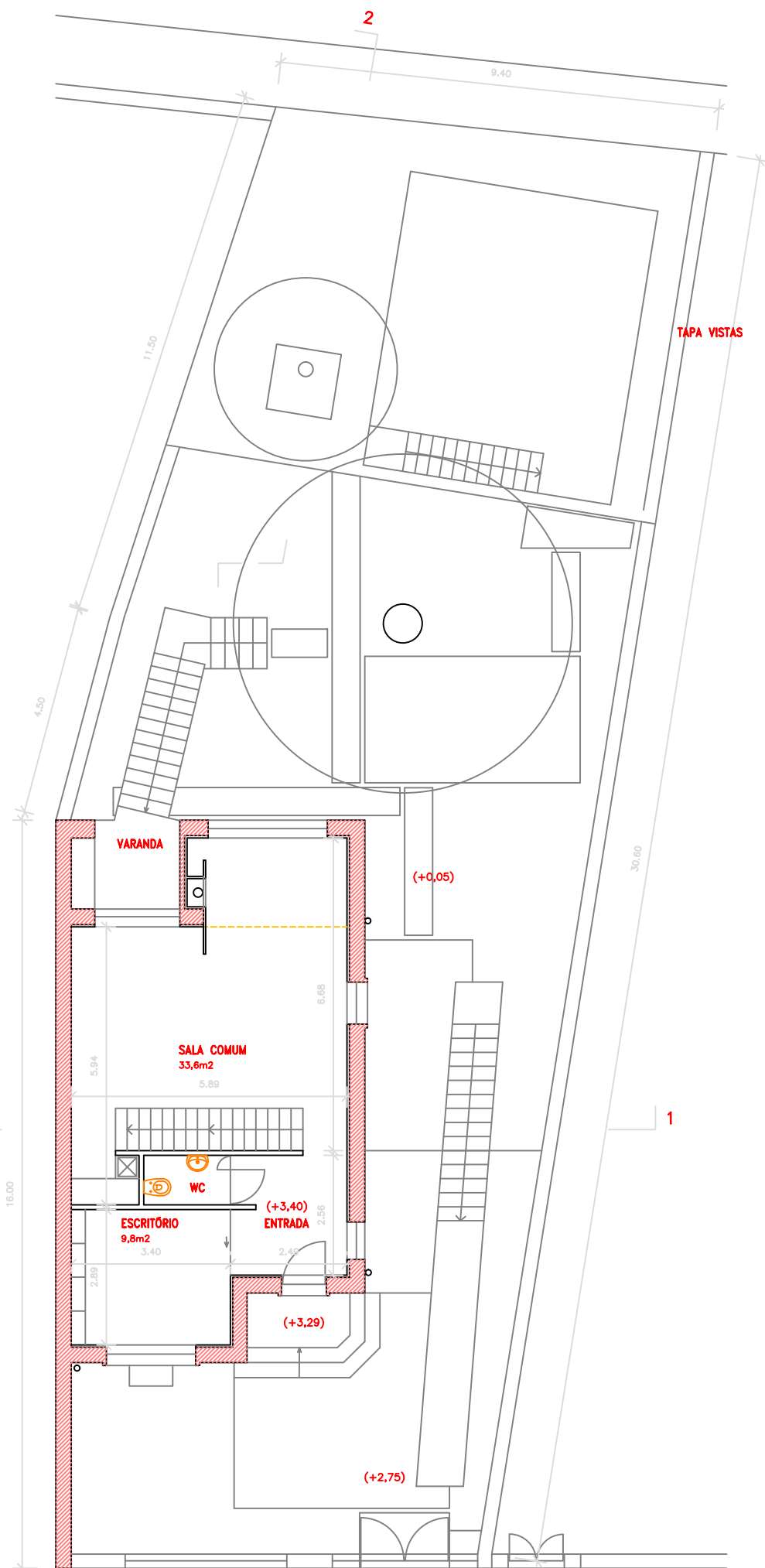


Figura I.32 – Janela de aplicação *Comparateur* do menu *Sorties*

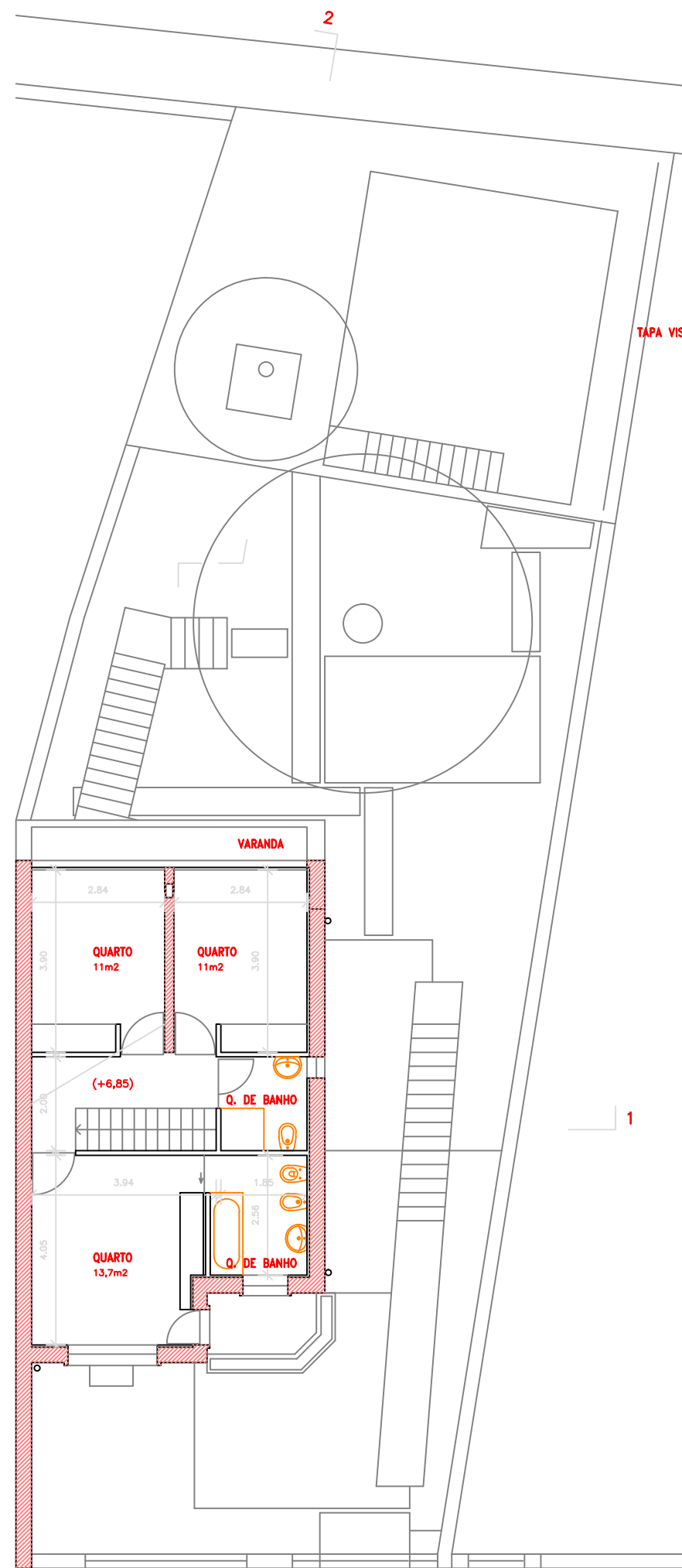
## **ANEXO II – PLANTAS, ALÇADOS E CORTES DO EDIFÍCIO**



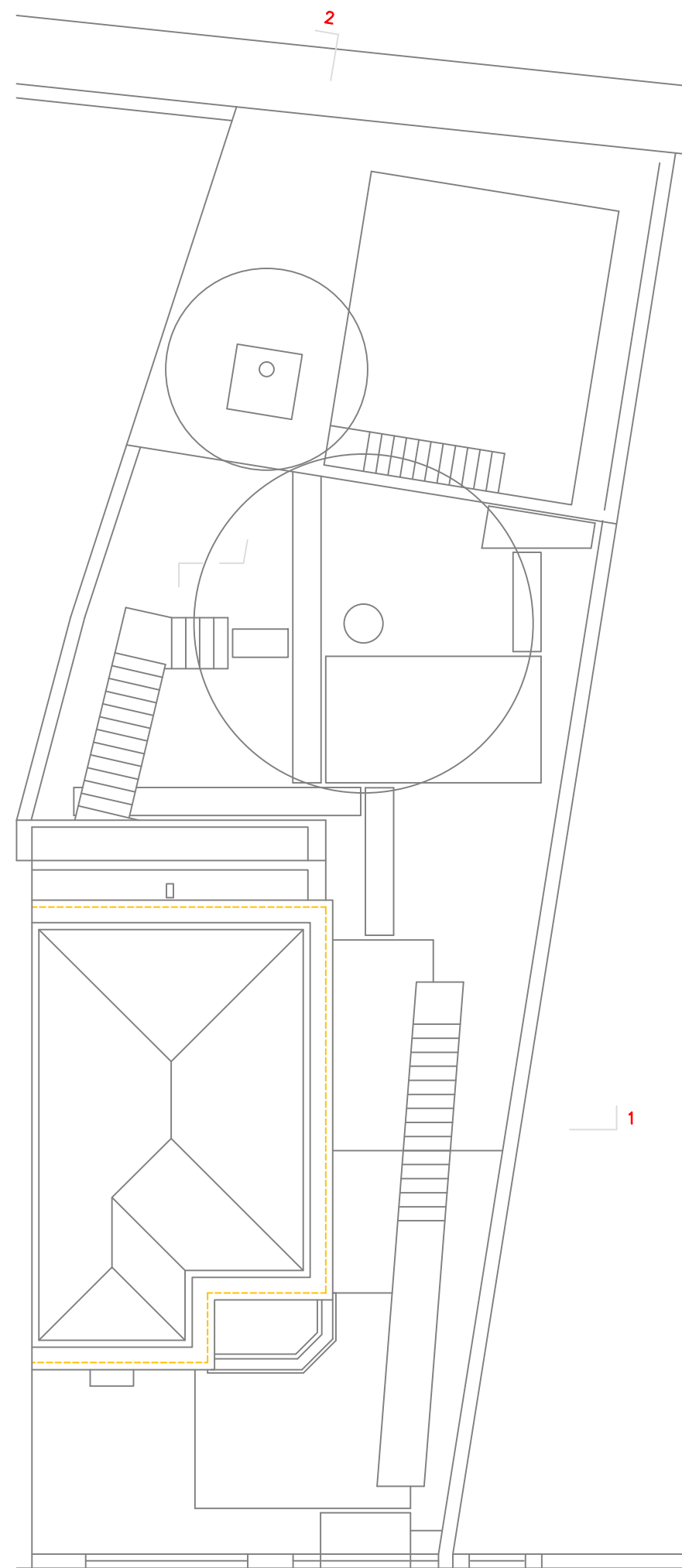
2  
PLANTA DA CAVE



2  
PLANTA DO R/C



2  
PLANTA DO 1º ANDAR

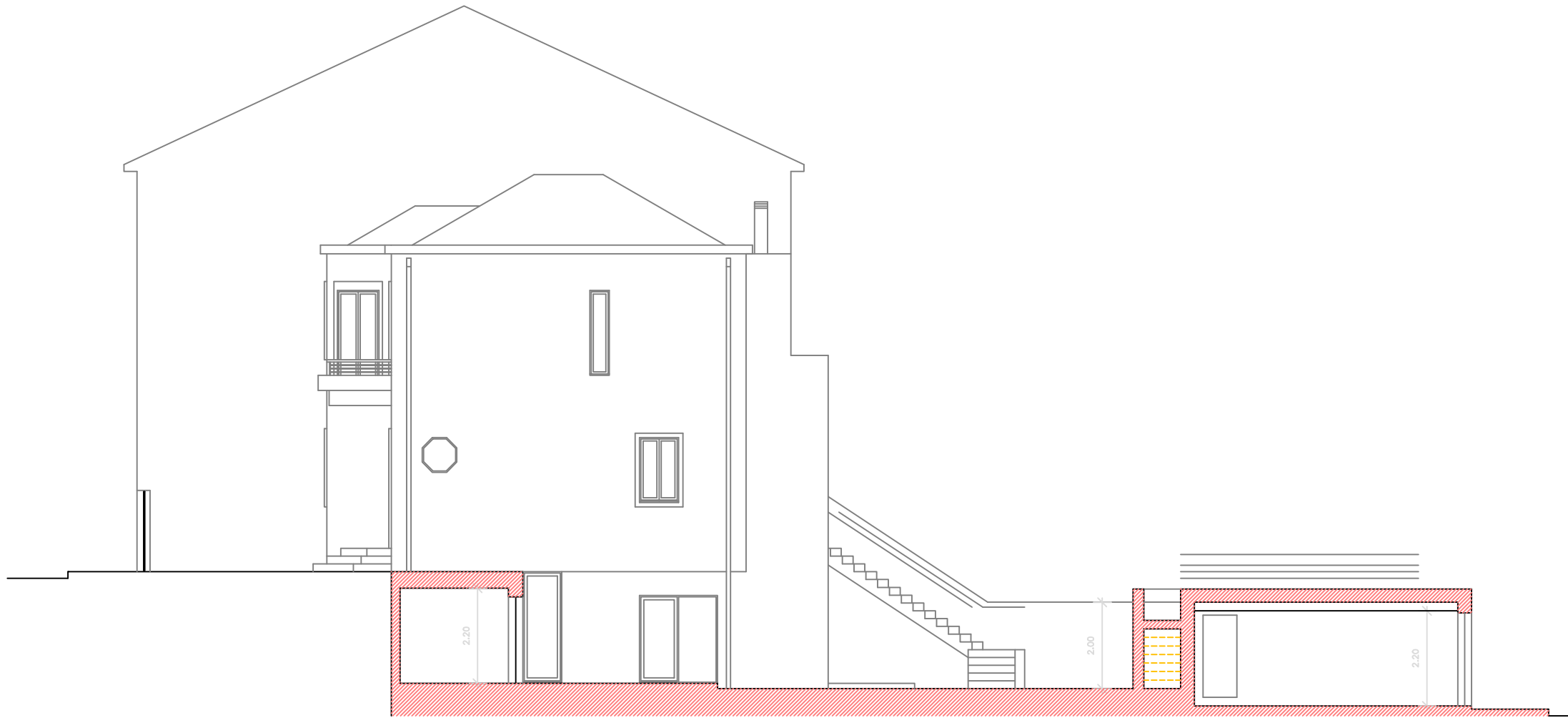


2  
PLANTA DE COBERTURAS

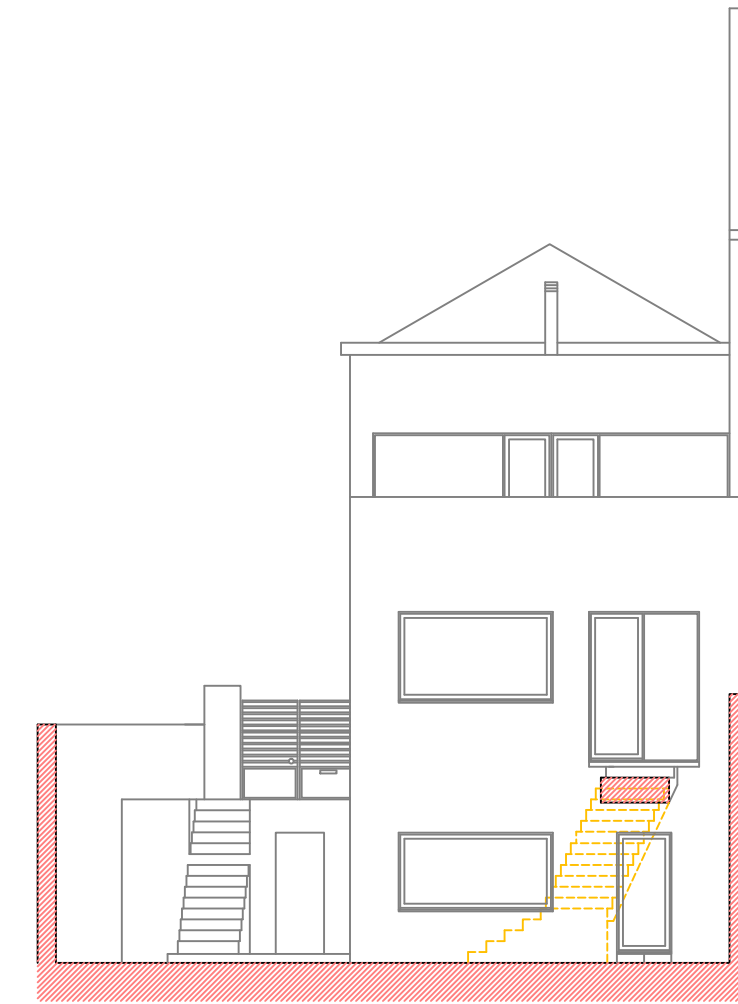
REQUERENTE: PROF. ENG. VASCO DE FREITAS		Data	8/00	1
REMODELAÇÃO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR NA RUA DE CARLOS DA MAIA, N.º180 – PROJ. DE LICENCIAMENTO		Esc.	1/100	
PLANTAS – TELAS FINAIS		Resp. António Portugal, arq.		Arq. VF\PROJ_LIC
A. PORTUGAL & M. M. REIS, ARQUITECTOS E ASSOCIADOS, LDA.				97.41



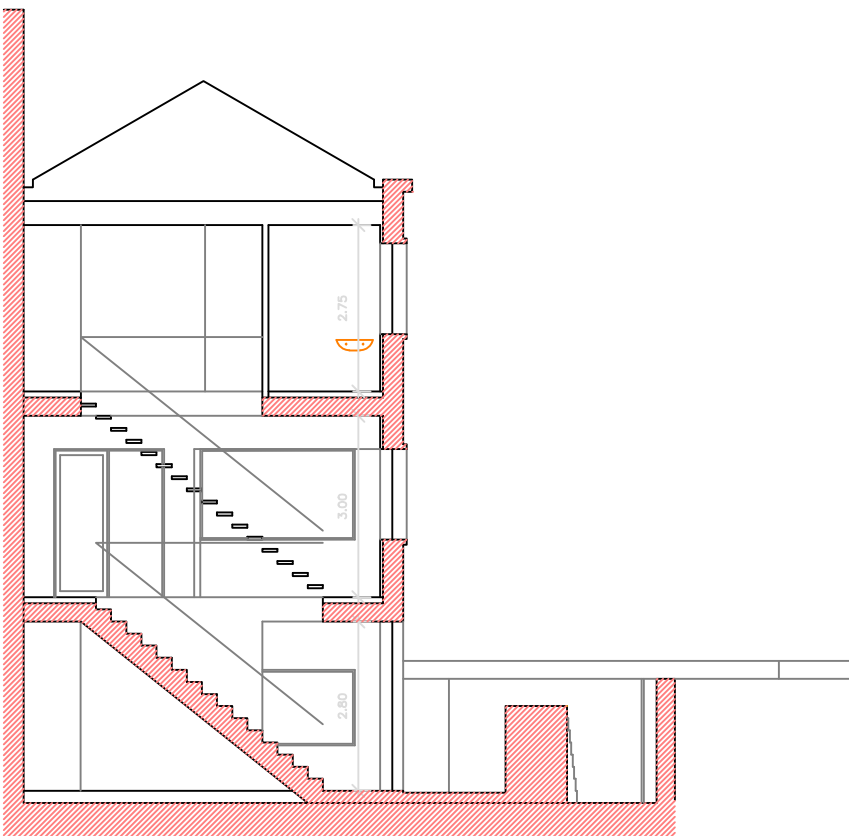
ALÇADO POENTE



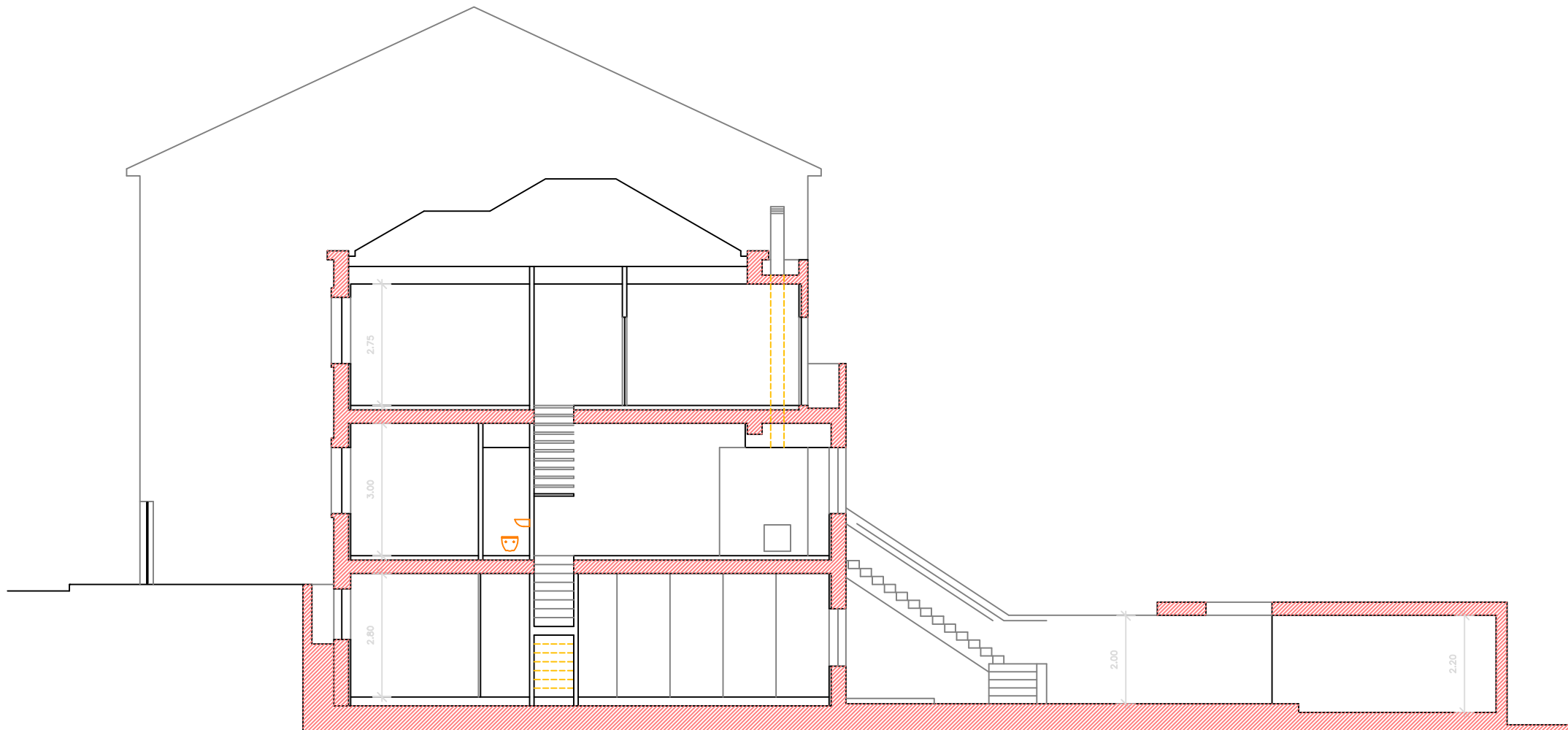
ALÇADO SUL



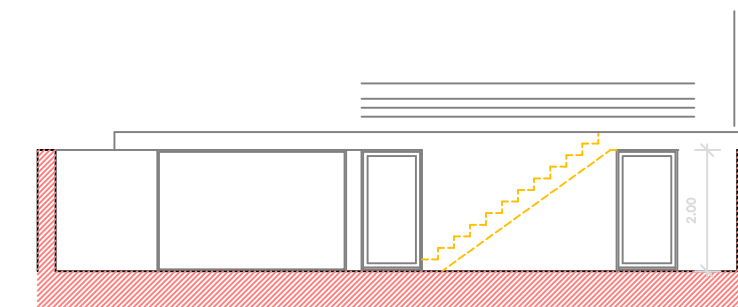
ALÇADO NASCENTE



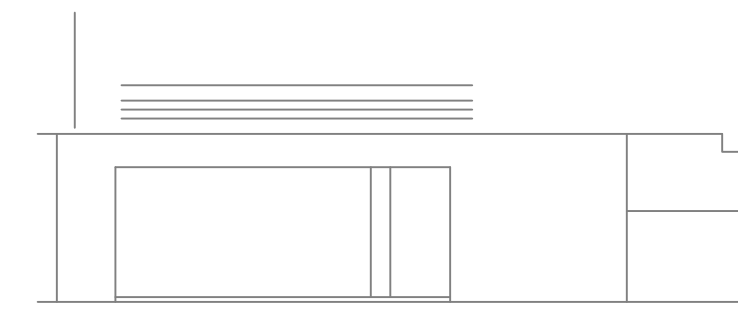
CORTE 1



CORTE 2



ALÇADO POENTE (GARAGEM E ANEXO)



ALÇADO NASCENTE (GARAGEM E ANEXO)

REQUERENTE: PROF. ENG. VASCO DE FREITAS		Data	8/00	2
REMODELAÇÃO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR NA RUA DE CARLOS DA MAIA, N°180 – PROJ. DE LICENCIAMENTO		Esc.	1/100	
CORTES E ALÇADOS – TELAS FINAIS		Resp. António Portugal, Arq.		Arq. VF\PROJ_LIC
A. PORTUGAL & M. M. REIS, ARQUITECTOS E ASSOCIADOS, LDA.				97.41





ALÇADO POENTE

REQUERENTE: PROF. ENG. VASCO DE FREITAS REMODELAÇÃO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR NA RUA DE CARLOS DA MAIA, N°180 – PROJ. DE LICENCIAMENTO	Data	8/00	3
	Esc.	1/50	
ALÇADO POENTE – TELAS FINAIS	Resp. António Portugal, Arq.	Arq. VF\PROJ_LIC	97.41
A. PORTUGAL & M. M. REIS, ARQUITECTOS E ASSOCIADOS, LDA.			

### ANEXO III – DESCRIÇÃO DAS ÁREAS E VOLUMES DOS COMPARTIMENTOS E DAS ÁREAS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS QUE COMPÕEM O EDIFÍCIO

Quadro III.1 – Caracterização dos compartimentos do edifício [35]

Compartimento	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Área do Vão Envidraçado (m <sup>2</sup> )		
			Poente	Nascente	Sul
Cozinha	13,3	37,2	-	1,84	-
Sala 1 e Escadas	28,4	79,5	-	3,31	-
Despensa	4	11,2	-	-	-
Arrumos	11,7	32,7	1,04	-	-
WC 1	3,6	10,1	-	-	-
Sala 2 e Escadas	44	132	-	8,24	1,99
WC 2	2,3	6,9	-	-	-
Escritório	10,3	30,9	2,85	-	-
Quarto 1	11,8	32,4	-	6,98	-
Quarto 2	11,8	32,4	-	6,98	-
Hall e Escadas	8,4	23,1	-	-	-
WC 3	4	11	-	-	0,67
Quarto 3	15	41,3	2,85	-	1,84
WC 4	6	16,5	2,33	-	-



## ANEXO IV – PORMENORIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

### ANEXO IV.I – CENÁRIOS SEMANAIS DE OCUPAÇÃO

SALA1 A1 (Ocupantes)							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h							
8h							
9h							
10h						2	2
11h						2	2
12h						2	2
13h							
14h							
15h						2	2
16h						2	2
17h						2	2
18h						2	2
19h						2	2
20h							
21h							
22h							
23h							
24h							

Figura IV.1 – Cenário de ocupação da Sala 1 para o nível A1

SALA1 A2 (Ocupantes)							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h							
8h							
9h							
10h						4	4
11h						4	4
12h						4	4
13h							
14h							
15h						4	4
16h						4	4
17h						4	4
18h						4	4
19h						4	4
20h							
21h							
22h							
23h							
24h							

Figura IV.2 – Cenário de ocupação da Sala 1 para o nível A2

ESCRITÓRIO A1 (Ocupantes)							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h							
8h							
9h							
10h							
11h							
12h							
13h							
14h							
15h							
16h							
17h							
18h							
19h							
20h							
21h	1	1	1	1	1		
22h	1	1	1	1	1		
23h							
24h							

Figura IV.3 – Cenário de ocupação do Escritório para o nível A1

ESCRITÓRIO A2 (Ocupantes)							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h							
8h							
9h							
10h							
11h							
12h							
13h							
14h							
15h							
16h							
17h							
18h							
19h							
20h							
21h	2	2	2	2	2		
22h	2	2	2	2	2		
23h							
24h							

Figura IV.4 – Cenário de ocupação do Escritório para o nível A2

QUARTO2 A1 (Ocupantes)							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	2	2	2	2	2	2	2
1h	2	2	2	2	2	2	2
2h	2	2	2	2	2	2	2
3h	2	2	2	2	2	2	2
4h	2	2	2	2	2	2	2
5h	2	2	2	2	2	2	2
6h	2	2	2	2	2	2	2
7h	2	2	2	2	2	2	2
8h						2	2
9h							
10h							
11h							
12h							
13h							
14h							
15h							
16h							
17h							
18h							
19h							
20h							
21h							
22h							
23h	2	2	2	2	2	2	2
24h							

Figura IV.5 – Cenário de ocupação do Quarto 2 para o nível A1

QUARTO2 A2 (Ocupantes)							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	4	4	4	4	4	4	4
1h	4	4	4	4	4	4	4
2h	4	4	4	4	4	4	4
3h	4	4	4	4	4	4	4
4h	4	4	4	4	4	4	4
5h	4	4	4	4	4	4	4
6h	4	4	4	4	4	4	4
7h	4	4	4	4	4	4	4
8h						4	4
9h							
10h							
11h							
12h							
13h							
14h							
15h							
16h							
17h							
18h							
19h							
20h							
21h							
22h							
23h	4	4	4	4	4	4	4
24h							

Figura IV.6 – Cenário de ocupação do Quarto 2 para o nível A2

ANEXO IV.II – CENÁRIOS SEMANAIS DE POTÊNCIA DISSIPADA

SALA1 A1 (Watts/m <sup>2</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h							
8h	8	8	8	8	8		
9h	8	8	8	8	8	8	8
10h	8	8	8	8	8	8	8
11h	8	8	8	8	8	8	8
12h							
13h							
14h	8	8	8	8	8	8	8
15h	8	8	8	8	8	8	8
16h	8	8	8	8	8	8	8
17h	8	8	8	8	8	8	8
18h	8	8	8	8	8	8	8
19h							
20h							
21h	8	8	8	8	8	8	8
22h	8	8	8	8	8	8	8
23h							
24h							

Figura IV.7 – Cenário de potência dissipada na Sala 1 para o nível A1

SALA1 A2 (Watts/m <sup>2</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h							
8h	16	16	16	16	16		
9h	16	16	16	16	16	16	16
10h	16	16	16	16	16	16	16
11h	16	16	16	16	16	16	16
12h							
13h							
14h	16	16	16	16	16	16	16
15h	16	16	16	16	16	16	16
16h	16	16	16	16	16	16	16
17h	16	16	16	16	16	16	16
18h	16	16	16	16	16	16	16
19h							
20h							
21h	16	16	16	16	16	16	16
22h	16	16	16	16	16	16	16
23h							
24h							

Figura IV.8 – Cenário de potência dissipada na Sala 1 para o nível A2

ESCRITÓRIO A1 (Watts/m <sup>2</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h							
8h							
9h							
10h							
11h							
12h							
13h							
14h							
15h							
16h							
17h							
18h							
19h							
20h							
21h	8	8	8	8	8		
22h	8	8	8	8	8		
23h							
24h							

Figura IV.9 – Cenário de potência dissipada no Escritório para o nível A1

ESCRITÓRIO A2 (Watts/m <sup>2</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h							
8h							
9h							
10h							
11h							
12h							
13h							
14h							
15h							
16h							
17h							
18h							
19h							
20h							
21h	16	16	16	16	16		
22h	16	16	16	16	16		
23h							
24h							

Figura IV.10 – Cenário de potência dissipada no Escritório para o nível A2

QUARTO2 A1 (Watts/m <sup>2</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h	5	5	5	5	5	5	5
8h						5	5
9h							
10h							
11h							
12h							
13h							
14h							
15h							
16h							
17h							
18h							
19h							
20h							
21h							
22h	5	5	5	5	5	5	5
23h	5	5	5	5	5	5	5
24h							

Figura IV.11 – Cenário de potência dissipada no Quarto 2 para o nível A1

QUARTO2 A2 (Watts/m <sup>2</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h							
1h							
2h							
3h							
4h							
5h							
6h							
7h	10	10	10	10	10	10	10
8h						10	10
9h							
10h							
11h							
12h							
13h							
14h							
15h							
16h							
17h							
18h							
19h							
20h							
21h							
22h	10	10	10	10	10	10	10
23h	10	10	10	10	10	10	10
24h							

Figura IV.12 – Cenário de potência dissipada no Quarto 2 para o nível A2

### ANEXO IV.III – CENÁRIOS SEMANAIS DE VENTILAÇÃO

	VT1 VERÃO (h <sup>-1</sup> )						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
1h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
2h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
3h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
4h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
5h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
6h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
7h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
8h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
9h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
10h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
11h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
12h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
13h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
14h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
15h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
16h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
17h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
18h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
19h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
20h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
21h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
22h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
23h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
24h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Figura IV.13 – Cenário de ventilação VT1 do edifício para a estação de arrefecimento

	VT1 INVERNO (h <sup>-1</sup> )						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
1h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
2h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
3h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
4h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
5h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
7h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
8h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
9h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
10h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
11h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
12h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
13h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
14h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
15h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
16h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
17h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
18h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
19h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
20h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
21h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
22h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
23h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
24h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Figura IV.14 – Cenário de ventilação VT1 do edifício para a estação de aquecimento

VT2 VERÃO (h <sup>-1</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
1h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
2h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
3h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
4h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
5h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
6h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
7h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
8h	1	1	1	1	1	1	1
9h	1	1	1	1	1	1	1
10h	1	1	1	1	1	1	1
11h	1	1	1	1	1	1	1
12h	1	1	1	1	1	1	1
13h	1	1	1	1	1	1	1
14h	1	1	1	1	1	1	1
15h	1	1	1	1	1	1	1
16h	1	1	1	1	1	1	1
17h	1	1	1	1	1	1	1
18h	1	1	1	1	1	1	1
19h	1	1	1	1	1	1	1
20h	1	1	1	1	1	1	1
21h	1	1	1	1	1	1	1
22h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
23h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
24h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Figura IV.15 – Cenário de ventilação VT2 do edifício para a estação de arrefecimento

VT2 INVERNO (h <sup>-1</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
1h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
2h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
3h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
4h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
5h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
7h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
8h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
9h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
11h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
12h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
13h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
14h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
15h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
16h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
17h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
18h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
19h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
20h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
21h	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
22h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
23h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
24h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Figura IV.16 – Cenário de ventilação VT2 do edifício para a estação de aquecimento



VT3 VERÃO (h <sup>-1</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
1h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
2h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
3h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
4h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
5h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
6h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
7h	1	1	1	1	1	1	1
8h	1	1	1	1	1	1	1
9h	1	1	1	1	1	1	1
10h	1	1	1	1	1	1	1
11h	1	1	1	1	1	1	1
12h	1	1	1	1	1	1	1
13h	1	1	1	1	1	1	1
14h	1	1	1	1	1	1	1
15h	1	1	1	1	1	1	1
16h	1	1	1	1	1	1	1
17h	1	1	1	1	1	1	1
18h	1	1	1	1	1	1	1
19h	1	1	1	1	1	1	1
20h	1	1	1	1	1	1	1
21h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
22h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
23h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
24h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5

Figura IV.17 – Cenário de ventilação VT3 do edifício para a estação de arrefecimento

VT3 INVERNO (h <sup>-1</sup> )							
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
1h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
2h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
3h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
4h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
5h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
7h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
8h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
9h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
10h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
11h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
12h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
13h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
14h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
15h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
16h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
18h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
19h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
20h	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
21h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
22h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
23h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
24h	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Figura IV.18 – Cenário de ventilação VT3 do edifício para a estação de aquecimento

ANEXO IV.IV – CENÁRIOS SEMANAIS DE OCULTAÇÃO

	Ocultação Verão (%)						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	100	100	100	100	100	100	100
1h	100	100	100	100	100	100	100
2h	100	100	100	100	100	100	100
3h	100	100	100	100	100	100	100
4h	100	100	100	100	100	100	100
5h	100	100	100	100	100	100	100
6h	100	100	100	100	100	100	100
7h	100	100	100	100	100	100	100
8h	100	100	100	100	100	100	100
9h	100	100	100	100	100	100	100
10h	100	100	100	100	100	100	100
11h	100	100	100	100	100	100	100
12h	100	100	100	100	100	100	100
13h	100	100	100	100	100	100	100
14h	100	100	100	100	100	100	100
15h	100	100	100	100	100	100	100
16h	100	100	100	100	100	100	100
17h	100	100	100	100	100	100	100
18h	100	100	100	100	100	100	100
19h	100	100	100	100	100	100	100
20h	100	100	100	100	100	100	100
21h	100	100	100	100	100	100	100
22h	100	100	100	100	100	100	100
23h	100	100	100	100	100	100	100
24h	100	100	100	100	100	100	100

Figura IV.19 – Cenário de ocultação dos vãos envidraçados do edifício para a estação de arrefecimento

	Ocultação Inverno (%)						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h	100	100	100	100	100	100	100
1h	100	100	100	100	100	100	100
2h	100	100	100	100	100	100	100
3h	100	100	100	100	100	100	100
4h	100	100	100	100	100	100	100
5h	100	100	100	100	100	100	100
6h	100	100	100	100	100	100	100
7h	100	100	100	100	100	100	100
8h	30	30	30	30	30	30	30
9h	30	30	30	30	30	30	30
10h	30	30	30	30	30	30	30
11h	30	30	30	30	30	30	30
12h	30	30	30	30	30	30	30
13h	30	30	30	30	30	30	30
14h	30	30	30	30	30	30	30
15h	30	30	30	30	30	30	30
16h	30	30	30	30	30	30	30
17h	30	30	30	30	30	30	30
18h	30	30	30	30	30	30	30
19h	100	100	100	100	100	100	100
20h	100	100	100	100	100	100	100
21h	100	100	100	100	100	100	100
22h	100	100	100	100	100	100	100
23h	100	100	100	100	100	100	100
24h	100	100	100	100	100	100	100

Figura IV.20 – Cenário de ocultação dos vãos envidraçados do edifício para a estação de aquecimento